

**Jyri Saunamäki**

# **CAN-VÄYLÄOHJAUKSET SIEMENS TEKNIKALLA**

**Opinnäytetyö  
CENTRIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Tieto- ja viestintätekniikan koulutusohjelma  
Lokakuu 2019**

## TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

<b>Centria-ammattikorkeakoulu</b>	<b>Aika</b> Lokakuu 2019	<b>Tekijä/tekijät</b> Jyri Saunamäki
<b>Koulutusohjelma</b> Tieto- ja viestintätekniikka		
<b>Työn nimi</b> CAN-VÄYLÄOHJAUKSET SIEMENS TEKNIKALLA		
<b>Työn ohjaaja</b> Hannu Ala-Pönttiö		<b>Sivumäärä</b> 32 + 47
<b>Työelämäohjaaja</b> Tuomo Käsäkangas		
<p>Tämä opinnäytetyö käsittelee Siemensin SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävää ja sen soveltamista Apex Automation Oy:n tekemään asiakasprojektiin. Projektin tarkoitus oli kehittää erästä vanhempaa ohjausjärjestelmää, joka oli tehty toiseen projektiin. Uudessa järjestelmässä SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävän kautta ohjattaisiin CAN-väylässä olevia moottoriohjaimia sekä luettaisiin väylältä tietoa.</p> <p>Aluksi opinnäytetyössä käsitellään työn aikana käytetyt teollisuusväylät, sekä avataan niiden toimintaperiaatteita ja käyttökohteita hieman. Tarkoituksena oli ymmärtää paremmin, kuinka projektissa käytettävät väylät toimivat.</p> <p>Toiseksi opinnäytetyössä on esitelty ja lyhyesti avattu työssä käytössä olleita laitteita ja ohjelmia. Lisäksi jokaisen esittelyn kohdalla on hieman kerrottu, mitä kukin laite tekee.</p> <p>Kolmannessa osiossa on käyty läpi käytännön osuus, jossa on siis kerrottu, miten koko opinnäytetyöprosessi edistyi. Se on jaettuna kolmeen eri osuuteen. Tutkimusosuudessa kerrotaan, kuinka projektin alussa kerättiin tietoa eri asioista. Ohjelmointi ja testaus osuudessa on käyty läpi, missä järjestyksessä asioita on käyty läpi sekä mitä ongelmia niiden kanssa oli. Ohjeiden teko osuudessa on vielä kerrottu lyhyesti, mitä jokainen työn aikana tehty ohje sisältää.</p>		

<b>Asiasanat</b> Apex Automation Oy, Siemens, SIMATIC, PN/CAN LINK, CAN-väylä, CANopen, PROFINET, väylä, automaatio
--

## ABSTRACT

<b>Centria University of Applied Sciences</b>	<b>Date</b> October 2019	<b>Author</b> Jyri Saunamäki
<b>Degree programme</b> Information Technology		
<b>Name of thesis</b> CONTROLLING A CAN BUS WITH SIEMENS' TECHNOLOGY		
<b>Instructor</b> Hannu Ala-Pönttiö		<b>Pages</b> 32 + 47
<b>Supervisor</b> Tuomo Käsäkangas		
<p>This thesis describes the use of Siemens' SIMATIC PN/CAN LINK communication gateway and its integration to a customer's project for Apex Automation Oy. The purpose of the project was to improve an older control system made for another project. In the new control system, the SIMATIC PN/CAN LINK communication gateway would be used to control CAN bus-based DC motor inverters, as well as read information from the bus.</p> <p>The thesis begins by describing the two different industrial buses used in the project, as well as their operational principles and places of application for them. The purpose was to have a better understanding of the industrial buses used in the project.</p> <p>The second part of the thesis introduces the hardware and software used during the project. In addition, the purposes of each of them in the project is briefly described</p> <p>The third part of the thesis goes through the practical part of the thesis. It includes how the research, testing and writing processes went. It is split into 3 different sections. The research section describes the way in which information was gathered in the start. The programming and testing section discusses the order in which the project was done. It also describes the problems that occurred during testing phase. The final section briefly outlines the contents of the instructions written during the thesis.</p>		

### Key words

Apex Automation Oy, Siemens, SIMATIC, PN/CAN LINK, CAN bus, CANopen, PROFINET, automation

## KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

<b>ASIC</b>	Application-specific integrated circuit, eli sovelluskohtainen integroitu piiri
<b>AV</b>	Audio Visual
<b>BIT</b>	Bit eli bitti
<b>BUS</b>	Bus eli väylä
<b>BYTE</b>	Byte eli tavu, koostuu 8 bitistä
<b>CAN BUS</b>	Control Area Network Bus eli CAN-väylä
<b>COB</b>	Communication Object eli kommunikointiobjekti
<b>COB ID</b>	Kommunikointiobjektin tunnus
<b>EDS</b>	Electronic Data Sheet eli elektroninen datalehti
<b>ENDIANESS</b>	Prosessoriin tavujen käsittelyjärjestys
<b>FULL DUPLEX</b>	Järjestelmä tai väylä, joka pystyy lähettämään ja vastaanottamaan tietoa samanaikaisesti
<b>HALF FUPLEX</b>	Järjestelmä tai väylä, joka ei kykene siirtämään lähtevää ja tulevaa tietoa samanaikaisesti
<b>HMI</b>	Human machine interface. Tässä tapauksessa tietokoneen ja ihmisen väliseen kommunikointiin tarkoitettu paneeli
<b>I/O</b>	Input/output eli sisään- ja ulostulot
<b>ID</b>	Identifier eli tunniste
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers järjestö
<b>NMT</b>	Network management, eli verkon hallitsija
<b>NODE</b>	Node eli noodi. Yksittäinen kommunikointiyksikkö verkossa
<b>NODE ID</b>	Noodin yksilökohtainen tunnus
<b>SCADA</b>	Supervisory control and data acquisition, eli valvonta ja tiedonhankinta
<b>OD</b>	Object Dictionary. Yksittäisiä muuttujia, joita siirretään PDO-viestien sisällä.
<b>PDO</b>	Process Data Object. CAN-väylässä kulkevan viestikehyksen osa, joka pitää sisällään siirrettävän tiedon. Siirrettävä tieto koostuu yhdestä tai useammasta OD:sta

**PLC**

Programmable Logic Controller, eli ohjelmoitava logiikkaohjain

**PROFIBUS**

Process Field Bus

**PROFINET**

Process Field Net

**TIA**

Totally Integrated Automation. Siemensin kehittämä ohjelmointiympäristö.

**TIIVISTELMÄ**  
**ABSTRACT**  
**KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY**  
**SISÄLLYS**

<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 KÄYTETYT VÄYLÄTYYPIT .....</b>	<b>3</b>
2.1 CAN-väylä.....	3
2.1.1 Fyysinen kerros .....	4
2.1.2 Siirtokerros .....	6
2.1.3 CAN-väyläviestit .....	6
2.2 PROFINET .....	10
2.2.1 Tiedonsiirto.....	11
2.2.2 Langaton tiedonsiirto.....	12
<b>3 OHJELMISTO JA LAITTESTO .....</b>	<b>14</b>
3.1 Ohjelmistot.....	14
3.1.1 TIA Portal V15 .....	14
3.1.2 ZAPI PC Can Console .....	17
3.1.3 IXXAT canAnalyser3 Mini .....	18
3.2 Laitteet .....	19
3.2.1 Siemens S7-1215FC DC/DC/DC PLC .....	19
3.2.2 Siemens SIMATIC PN/CAN LINK .....	19
3.2.3 ZAPI ACEX 2µC.....	20
3.2.4 IXXAT USB- to-CAN V2 compact .....	21
3.2.5 SICK AHS36A Absolute Encoder .....	22
<b>4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS.....</b>	<b>25</b>
4.1 Vaihe 1: Tutkiminen .....	25
4.2 Vaihe 2: Ohjelmointi & testaus.....	26
4.3 Vaihe 3: Ohjeiden teko .....	29
<b>5 YHTEENVETO .....</b>	<b>31</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>33</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>KUVAT</b>	
KUVA 1. Esimerkki työkoneesta.....	3
KUVA 2. Esimerkki CAN-väylällä liikkuvista biteistä.....	4
KUVA 3. CAN-väylä, joka on päätetty 120 ohmin vastuksilla.....	6
KUVA 4. Standard CAN. 11 bittisellä tunnisteella lähetetyn CAN-viestin rakenne .....	9
KUVA 5. Extended CAN. 29 bittisellä tunnisteella lähetetyn CAN-viestin rakenne.....	9
KUVA 6. PROFINET eri kommunikointimenetelmät .....	12
KUVA 7. Esimerkki työn testivaiheessa käytetystä LAD-ohjelmalohkosta. ....	15
KUVA 8. FBD-koodin esimerkki .....	16
KUVA 9. SCL-koodin esimerkki.....	16
KUVA 10. ZAPI PC Can Console versio 0.67:N perusnäky.....	18
KUVA 11. IXXAT canAnalyser3 Mini -työkalu, jota käytettiin väylän liikenteen monitorointiin .....	18

KUVA 12. Tavujen osoitteiden järjestyksen vaihto. ....	20
KUVA 13. IXXAT USB-to-CAN V2 compact. ....	21
KUVA 14. CAN-väylä D9-liittimessä. ....	22
KUVA 15. SICK AHS36A absoluutti enkooderin arvon muutos kulmaksi.....	23
KUVA 16. Absoluutti enkooderin periaate.....	24

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. CANopen siirtonopeudet .....	5
TAULUKKO 2. CAN-viestien jako .....	9
TAULUKKO 3. Standard CAN -viestin kehys ja sen 11 eri osaa.....	10
TAULUKKO 4. Extended CAN -viestin kehyksen erot CAN 2.0A -viestiin .....	11
TAULUKKO 5. PROFIBUS -standardin tiedonsiirtonopeus ja etäisyys .....	11
TAULUKKO 6. Eri PROFINETin käyttämät protokollat .....	13

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Apex Automation Oy, joka on kokkolalainen automaatio- ja sähkösuunnitteluun erikoistunut insinööritoimisto. Se on vuonna 1993 perustettu yritys, joka nykyään työllistää yli 50 alan ammattilaista.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Apex Automation Oy:lle Siemensin SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävää ja soveltaa sitä eräässä asiakasprojektissa. Tarkoituksena oli käyttää PROFINETiin pohjautuvia Siemensin laitteita CAN-väylän hallitsemiseen. SIMATIC PN/CAN LINK on viestiyhdyskäytävä, joka muuntaa CAN-väylän liikenteen sellaiseen muotoon, että sitä voidaan käyttää PROFINET I/O:n tapaan.

Laitteen käyttöönoton yhteydessä arvioidaan sen soveltuvuutta muihin mahdollisiin projekteihin. Jos SIMATIC PN/CAN LINK osoittautuu käytännölliseksi ratkaisuksi, voitaisiin sitä hyödyntää myös yrityksen eri projekteissa. Tästä syystä opinnäytetyön tekoon kuului myös käyttöohjeiden luominen yritykselle. Ohjeet koottiin työn tutkimisen sekä testauksen yhteydessä ja luovutettiin toimeksiantajan käyttöön niiden valmistuttua. Työn aikana tuli myös tarve tehdä kaksi lisäohjetta, koska kaksi laitetta jouduttiin konfiguroimaan uudella tavalla. Valmistunut projekti tulisi käyttöön Apex Automation Oy:n asiakkaalle syksyllä 2019.

Tässä opinnäytetyössä perehdyttiin syvällisemmin CAN-väylään, sen rakenteeseen ja sen kommunikointiin. Työssä perehdyttiin myös Ethernet-pohjaiseen PROFINET-väylään ja sen eri ominaisuuksiin ja käyttökohteisiin. Työssä on myös kerrottu siinä käytetyistä laitteista ja ohjelmistoista, sekä siitä miten ne liittyivät toisiinsa.

Käytännön osuudessa hyödynnettiin teoriaosuudessa tutkittuja väyliä, laitteita ja ohjelmistoja. Niiden avulla päivitetäisiin Apex Automation Oy:n jo aikaisemmin valmistamaa ohjausjärjestelmää toimimaan CAN-väylän kautta kyseisessä projektissa. Päivityksen tarve tuli, koska oli hankittu CAN-väylän kautta ohjattavia moottoriohjaimia ja SIMATIC PN/CAN LINK ei suoraan toimisi vanhalla ohjausjärjestelmällä. Samalla korvattaisiin vanhassa ohjausjärjestelmässä käytetty pulssianturi käytännöllisemmällä absoluuttisella enkooderilla.



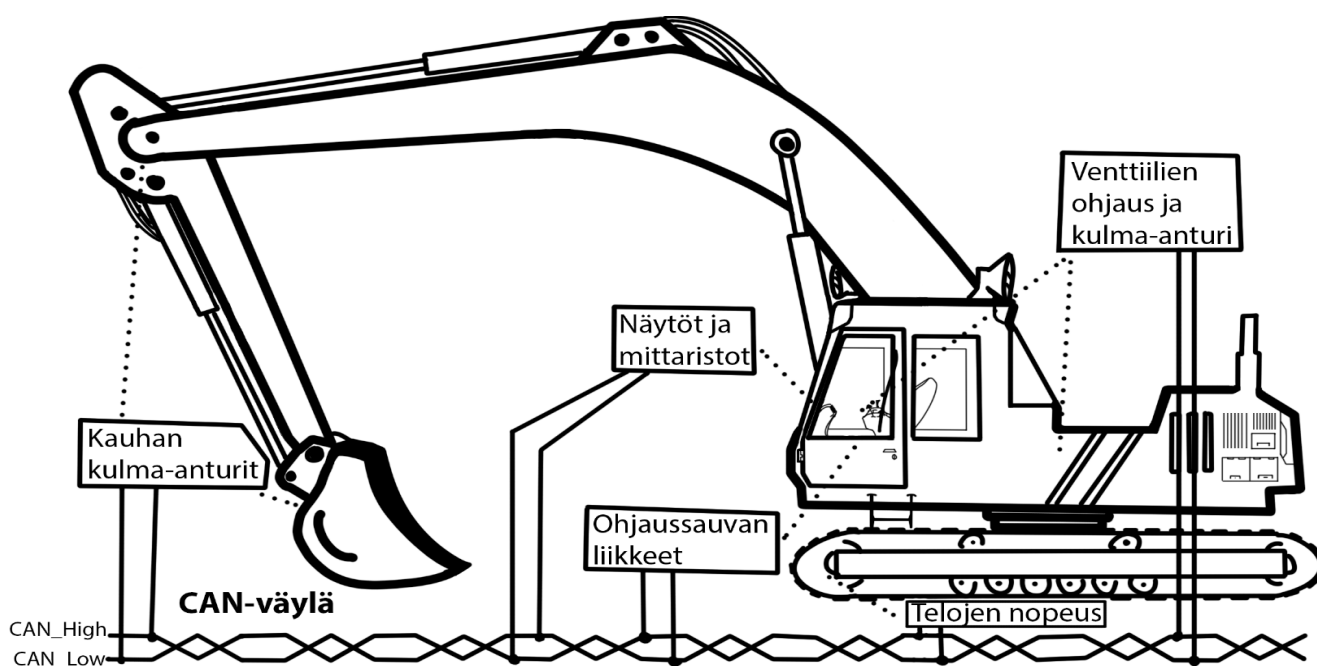
Opinnäytetyön aikana siis perehdyttiin Apex Automation Oy:n valmistamaan aikaisempaan ohjausjärjestelmään ja muokattiin se kyseiseen asiakasprojektiin sopivaksi. Ohjausjärjestelmään päivitettäisiin siis sen I/O:ta, lisättäisiin SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävä ja muokattaisiin, sekä kirjoitettaisiin uutta koodia.

## 2 KÄYTETYT VÄYLÄTYYPIT

Opinnäytetyön aikana oli käytössä kahta erilaista teollisuusstandardia, joiden välinen suora kommunikointi ei ollut mahdollista erilaisten väylätekniikoiden sekä liitäntöjen takia. Työssä käytetyt Siemensin laitteet kommunikoivat keskenään käyttämällä PROFINET -standardia, joka on IEEE:n 802.3 Ethernet -standardin mukainen väylä. Työssä käytettävät CAN-väylän laitteet kommunikoivat käyttämällä CAN 2.0A -standardia.

### 2.1 CAN-väylä

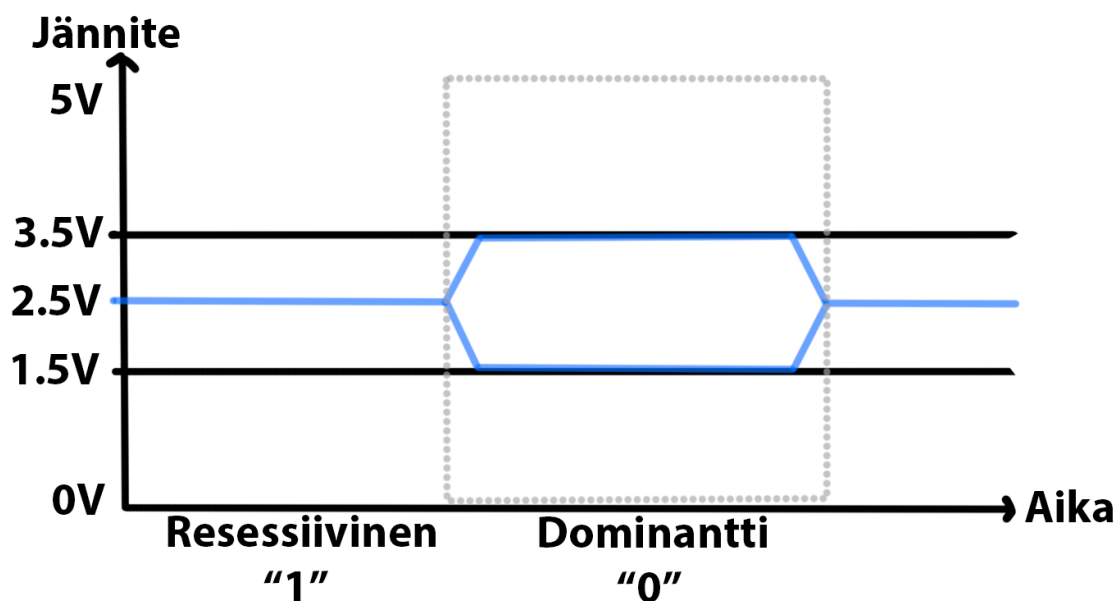
Control Area Network, eli CAN-väylä, on eräänlainen automaatioväylä, josta on tullut lähes universaali standardi kulkuneuvojen kommunikoinnissa käytetyissä väylätekniikoissa. CAN-väylä on ollut kovassa suosiossa 2000-luvun jälkeen valmistetuissa alussa autoissa ja työkoneissa. Väylän suosio on johtanut sen laajaan käyttöönottoon. Esimerkiksi Audi, Mercedes-Benz, Volkswagen ja Volvo ovat olivat väylän aikaisia käyttäjiä. CAN-väylä ei ole kuitenkaan rajoitettu vain pelkästään ajoneuvoihin, vaan sitä voidaan käyttää muissakin koneissa. CAN-väylän sopii käytännössä kaikkiin koneisiin, joissa on tarve kommunikoida reaaliaikaisesti. (Alanen, 2000a). (KUVA 1)



Kuva 1. Esimerkki työkoneesta. Kaivurissa on monta käyttökohdetta CAN-väylälle. (Mukaiillen Alanen, 2000b, 1)

CAN-väylä ei käytä tyypillistä  $+12V_{DC}$ :n tai  $+24V_{DC}$ :n jännitettä. CAN-väylän kommunikointi sen sijaan tapahtuu  $+5V_{DC}$ :n maksimijännitteellä. Väylä koostuu kahdesta jännitteellisestä johtimesta. Molempien johtimien perusjännite on  $+2,5V_{DC}$  ilman minkäänlaista kuormaa. Nostamalla tai laskemalla jännitettä näissä kahdessa johtimessa voidaan ne tulkita päätelaitteella bittien eri loogisiksi tasoiksi. CAN-väylällä on käytössä 2 eri tasoa biteille. Niistä "0"-arvo on dominantti ja "1"-arvo on resessiivinen.

Väylässä liikkuvan bitin arvoksi väylällä voidaan todeta "1", jos molemmat CAN-High ja CAN-Low -johtimet ovat noin  $+2,5V_{DC}$ :n potentiaalissa. Jos halutaan kirjoittaa bitin arvoksi "0", tulee johtimien jännitetasoa muuttaa (KUVA 2). Korottamalla CAN-High -johtimen jännitteen noin  $+3.5V_{DC}$ :n potentiaaliin ja laskemalla CAN-Low -johtimen potentiaalin noin  $+1.5V_{DC}$ :n kohdalle voidaan väylällä olevan bitin arvo tulkita loogiseksi "0"-tasoksi. Johtimien välinen potentiaaliero on noin  $2V_{DC}$ , kun bitin arvoksi voidaan todeta "0". Jos jännitetasot poikkeavat näistä arvoista, niin väylä ei välttämättä toimi ja voidaan todeta, että väylässä on jotain vikaa.



Kuva 2. Esimerkki CAN-väylällä liikkuvista biteistä. (Mukaillen Siemens, 2015a, 7)

### 2.1.1 Fyysinen kerros

CAN-väylällä käytettävää kaapelia ja liitintä ei ole standardoitu, joten on ne tehtävä käyttökohteen mukaisesti. Usein ne selvitetään käyttäen laitteen manuaalia. CAN-väylä kuitenkin koostuu vähintään

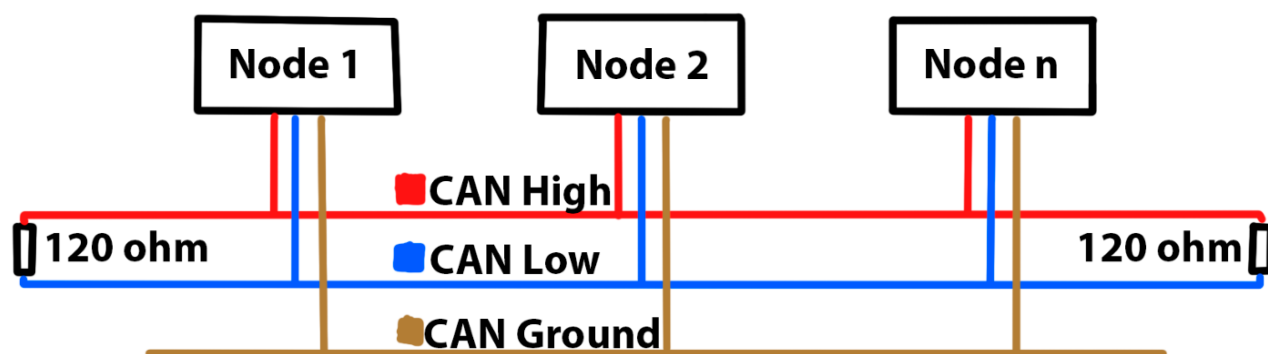
CAN-High ja CAN-Low -johtimista. On kuitenkin mahdollista, että CAN-väylään käytetyissä kaapeleissa on muita johtimia. CAN-Shield on yleensä kierretyn parikaapelin vaipasta tuotu johdin, joka kytetään maapotentiaalissa olevaan pisteeseen. Sen avulla voidaan vähentää huomattavasti väylään indusoituvia häiriöitä ja pitää johtimissa liikkuva tieto luotettavana. Muita saman kaapelin sisällä löytyviä kaapeleita voivat olla myös esimerkiksi anturin tai käyttölaitteen jännitejohdin ja erillinen maadoitus.

CAN-väylässä on tavallisesti mahdollista liittää enintään joko 64, 128 tai 256 eri noodia. Noodien määrää rajaa CAN-väylän nopeus ja kaapelien pituus (TAULUKKO 1), sekä väylässä käytettävien laitteiden elektroniikka. Suurella määrällä noodeja tulee CAN-väylän nopeutta nostaa, ettei kaistan käyttö ylitä 100 %:n kuormitusta. Suurella käyttöprosentilla saattavat pienimmän prioriteetilla olevat sanomat jäädä kokonaan lähettämättä. Nostamalla väylän nopeutta rajoitetaan kuitenkin väyläkaapelien maksimipituutta ja mahdollisuutta käyttää sitä suuremmissa asennuksissa.

TAULUKKO 1. CANopen siirtonopeudet (Mukaillen Beckhoff, 2019 & Corrigan, 2008, 5)

Baud rate (kbit/s)	Kaapelin maksimipituus(m)
1000	40
800	-
500	100
250	200
125	-
100	500
50	1000
20	1000+
10	1000+

CAN-väylä tulee päättää molemmista päistä 120 ohmin vastuksilla (KUVA 3). Tällä vältetään signaalin heijastumiset päätyjen kautta ja estetään mahdollisia tietojen vääristymisiä. Väylän päättelemisen voi tehdä usealla eri tavalla. Sinne voidaan esimerkiksi asentaa yli- tai alipäästösuodattimia, jos eritaajuisista signaaleista on haittaa väylällä. Puutteellisesti tai virheellisesti rakennetusta väylästä voi heijastua väylään takaisin virheellistä tietoa. On myös mahdollista, että väylä ei toimi ollenkaan.



Kuva 3. CAN-väylä, joka on päätetty 120 ohmin vastuksilla. (Mukaillen Siemens, 2015a, 6)

### 2.1.2 Siirtokerros

CAN-väylä on sarjamuotoinen, multi-masterinen protokolla (Cook & Freudenberg, 2008). Multi-masterilla tarkoitetaan, että mikä tahansa laite väylällä voi toimia master-laitteen tavalla ja lähettää muille laitteille ohjeita. Jos kahden tai useamman laitteen viestit lähetetään samaan aikaan toistensa kanssa, ratkaistaan tilanne tarkastelemalla viestien prioriteettikenttää.

Samanaikaisten viestien erottelua kutsutaan bitwise arbitrationiksi. Molempien laitteiden samanaikaisessa lähetyksessä laitteet kirjoittavat molemmat väylälle samaan aikaan bittijä. Tarkastelemalla muilta laitteilta tullutta prioriteettikentän bittijä ja vertaamalla sitä itse lähetettyyn tietoon voivat noodit päättää joko jatkaa lähetystään tai siirtyä kuuntelutilaan. Viestien prioriteettia määrittäessä pienillä arvoilla on suurempi prioriteetti kuin suurilla prioriteetti-arvoilla. Kaikilla viestikehyksillä on oma 11 tai 29 bittijä pitkä prioriteetti kenttä. Prioriteettibittien määrä riippuu käytettävästä CAN-väylän viestityypistä.

### 2.1.3 CAN-väyläviestit

Viesteissä ei ole kohdeosoitetta vaan viestit erotellaan niiden lähettäjän prioriteetin ja kommunikointiohjelman tunnisteen, eli COB ID:n, perusteella toisistaan. Koska kaikki noodit kuulevat lähetetyn sanoman, niin tulee älykkäiden noodien laitteiden asetuksiin määrittellä, tarvitseeko niiden käyttää sanoman sisältämiä tietoja. Jos laitteelle ei ole määriteltävissä tai määritettynä tulevan viestin COB ID:tä, viestin sisältöä ei oteta huomioon. COB ID muodostuu yleensä valmistajan ennalta määrittelemän numeron ja noodin tunnisteen summasta

Kaikki viestit voidaan lajitella omaan kategoriaansa niiden COB ID:n perusteella, sillä jokaiselle eri viestityypille on määritelty oma alue. Esimerkiksi kaikki prosessitietoa sisältävät viestit kulkevat PDO-alueella ja virnehallinnan viestit kulkevat Guarding-alueessa. (TAULUKKO 2)

Työssä käytetyssä CANopen -protokollassa koostuivat sen viestit 8 eri osa-alueesta: NMT-, SYNC-, Emergency/EMCY-, TimeStamp-, PDO-, SDO-, Guarding- ja LSS-protokollista.

NMT on verkon hallitsija protokolla. NMT-alueella liikkuvat komennot, jotka käskevät muita laitteita eri tiloihin. Sen tehtävänä on laitteiden pysäyttäminen ja käynnistäminen, sekä niiden resetoinnista huolehtiminen.

SYNC-protokolla toimii järjestelmän synkronisena kellona. Sitä voidaan hyödyntää tietojen lähettämiseen synkronisesti. Työn aikana PDO-kentän viestit lähetettiin pääasiassa käyttäen synkronisia viestejä.

Emergency- tai EMCY-protokolla huolehtii ja välittää väylällä tai laitteissa tapahtuneita virheviestej  muille laitteille.

TimeStamp on tarkempi ajanpidon protokolla kuin SYNC. Se määrittelee l hetysketken lähetyksille, jotka eivät noudata SYNC-protokollan synkronisia l hetysaikoja.

Prosessitietoa sisältävät PDO-viestit koostuvat Object dictionaryist , eli OD:sta. OD:t ovat yksittäisiä muuttujia, jotka sisältävät joko mitatun tai asetetun arvon. PDO-viestien sisälle on yleensä mahdollista määritellä, mitä eri muuttujia se sis lt  . Kuitenkin joillekin laitteille on PDO-sis lt  ennalta määriteltynä, eikä sitä voida muuttaa.

Service data object, eli SDO-protokollan kautta voidaan muuttaa eri laitteiden sisältämiä asetuksia sekä asettaa laitteen OD:lle eri arvoja. SDO-kommunikointi tapahtuu yleensä vain laitteiden konfigurointivaiheessa.

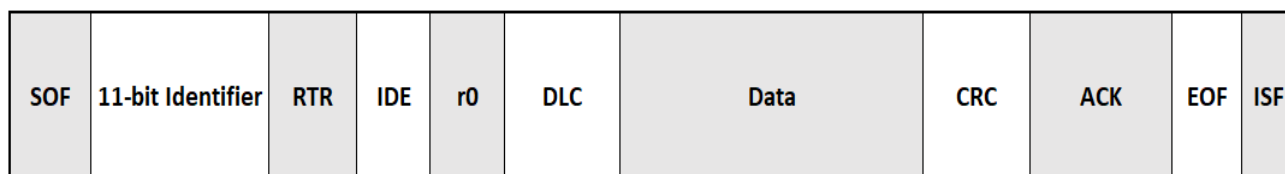
Guarding hoitaa laitteen yhteyden vahtimisen. Sen tehtävänä on ylläpitää joko Node guarding- tai Heartbeat -virnehallintamenetelm  . Node guarding ja Heartbeat ovat tapoja tarkastella noodien toimivuutta. Niiden avulla voidaan varmistua laitteiden toimivuudesta.

LSS eli Layer-Settings-Service on konfigurointitila, jossa on mahdollista muuttaa joidenkin laitteiden asetuksia. Työn aikana sitä hyödynnettiin esimerkiksi Node ID:n ja baud raten vaihtamiseen.

TAULUKKO 2. CAN-viestien jako (Mukaillen Canopensolutions, 2018b)

Communication object	COB ID(s) hex	Slave nodes
NMT node control	0	Receive only
Sync	80	Receive only
Emergency	080 + NodeID	Transmit
TimeStamp	100	Receive only
PDO	180 + NodeID	1. Transmit PDO
	200 + NodeID	1. Receive PDO
	280 + NodeID	2. Transmit PDO
	300 + NodeID	2. Receive PDO
	380 + NodeID	3. Transmit PDO
	400 + NodeID	3. Receive PDO
	480 + NodeID	4. Transmit PDO
SDO	500 + NodeID	4. Receive PDO
	580 + NodeID	Transmit
	600 + NodeID	Receive
NMT node monitoring (node guarding/heart-beat)	700 + NodeID	Transmit
LSS	7E4	Transmit
	7E5	Receive

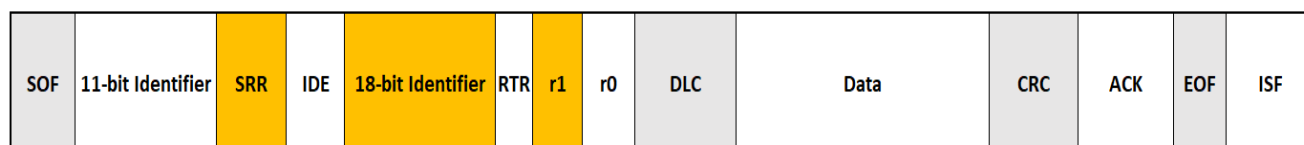
CAN-viestityyppejä on kahdenlaisia. ”Standard CAN” ja ”Extended CAN”. Joskus näitä kutsutaan myös nimillä CAN 2.0A ja CAN 2.0B. CAN 2.0A tarkoittaa standardia CAN-viestiä (KUVA 4 ja Taulukko 3), jossa käytetään 11 bittiä pitkää tunnistetta. CAN 2.0B on uudempi ”Extended CAN”, jossa käytetään 29 bittiä pitkää tunnistetta (Taulukko 4 ja KUVA 5). Järjestelmät, jotka käyttävät CAN 2.0B -standardia tukevat myös CAN 2.0A -viestejä, kun taas CAN 2.0A -järjestelmät eivät tue CAN 2.0B viestejä.



Kuva 4. Standard CAN. 11 bittisellä tunnisteella lähetetyn CAN-viestin rakenne. (Mukaillen Corrigan, 2016, 3)

TAULUKKO 3. Standard CAN -viestin kehys ja sen 11 eri osaa (Mukaillen Corrigan, 2016, 3)

Osa	Selite
SOF	Start of frame. Kertoo mistä viestikehys alkaa. SOF on aina dominantti tilassa.
Identifier (11bit)	Tunniste. Kehyksen toinen osa, joka on 11-bittiä pitkä tunniste, jolla kerrotaan viestin prioriteetti. Pienellä binääriarvolla on suurempi prioriteetti.
RTR	Eli remote transmission request. On dominantissa tilassa, jos halutaan tietoa toiselta noodilta.
IDE	Eli single identifier extension. Määrittelee käytetäänkö standardipituista CAN-viestiä vai extended CAN-viestiä. Jos bitti on dominantissa tilassa niin se tarkoittaa standardipituista CAN-viestiä.
r0	Varalla oleva bitti mahdollisia laajennuksia varten.
DLC	Eli data length code. 4-bittiä pitkä kenttä, jossa kerrotaan kuinka monta tavua DATA-kentässä siirretään.
DATA	Tieto, joka on määritelty PDO:n sisälle. Maksimissaan 8 tavua pitkä, eli 64 bittiä.
CRC	Eli cyclic redundancy check. 16-bittiä pitkä sarja, joka sisältää tarkastussumman DATA-kehykselle. Pitää huolen, että tiedot DATA-kehyksen sisällä eivät ole muuttuneet.
ACK	Eli acknowledgement osa. Tarkastelee virheitä viestissä. Jokainen noodi, joka vastaanottaa viestin, yli kirjoittaa resessiivisen bitin dominoivalla bitillä.
EOF	End of frame. 7-bittiä pitkä sarja, joka kertoo mihin viestikehys loppuu.
IFS	Eli interframe space. 7-bittiä pitkä pitkä sarja, jolla varmistetaan tarpeeksi pitkä aikaväli ohjaimen viestipuskurissa.



Kuva 5. Extended CAN. 29-bittisellä tunnisteella lähetetyn CAN-viestin rakenne. Erot CAN 2.0A viestiin merkittynä oranssilla värillä. (Mukaillen Corrigan, 2016, 4)



TAULUKKO 4. Extended CAN -viestin kehyksen erot CAN 2.0A viestiin (Mukaillen Corrigan, 2016, 4)

SRR	Eli substitute remote request. Korvaa RTR bitin CAN 2.0A viestistä ja toimii paikanpitäjänä extended CAN-viesteissä.
IDE	Eli single identifier extension. Määrittelee käytetäänkö standardipituista CAN-viestiä vai extended CAN-viestiä. Jos bitti on resessiivisessä tilassa niin se tarkoittaa extended CAN-viestiä.
Identifier (18bit)	Lisätunniste, jolla kerrotaan viestin prioriteetti. Pienellä binääriarvolla on suurempi prioriteetti. Käytössä vain, jos IDE on resessiivinen
r1	Varalla oleva bitti mahdollisia laajennuksia varten.

## 2.2 PROFINET

PROFINET on teollisuus-Ethernet-standardi, jossa on Ethernet protokollaan protokollalisäyksillä tehty aikakriittiset toiminnot mahdollisiksi. Ethernet-pohjainen PROFINET mahdollistaa myös langattoman tiedonsiirron. (Siemens, 2015b.)

PROFINETin kehityksestä ja ylläpidosta vastaa PROFIBUS & PROFINET International, eli PI-järjestö. Järjestö on vastuussa myös vanhemmasta PROFIBUS-väylän kehityksestä ja ylläpidosta. PROFINET kehitettiin niin, että voitaisiin varmistaa yksinkertainen ja sulava integrointi PROFIBUS:n kanssa (Siemens, 2019a).

Verrattuna PROFIBUSsiin on PROFINET paljon modernimpi teollisuuden kommunikointistandardi. Vanhan PROFIBUSsin avulla voidaan siirtää tietoa 9.6 kb/s ja 12 Mb/s välillä ja sen tiedonsiirron nopeus on riippuvainen linjan pituudesta (TAULUKKO 5). PROFIBUS on myös vain half duplexinen väylä, eli se ei kykene erisuuntaiseen tiedonsiirtoon samaan aikaan.

TAULUKKO 5. PROFIBUS -standardin tiedonsiirto nopeus ja etäisyys (Mukaillen Procenter, 2019)

Nopeus (kbit/s)	Etäisyys (m)
9.6	1200
19.2	1200
93.75	1200
187.5	1000
500	400
1500	200
3000	100
6000	100
12000	100

Koska PROFINET on Ethernet-pohjainen, voidaan sitä skaalata teknologian kehittyessä. Kaikki PROFINETin käyttämä kommunikointi on 100 Mbit/s nopeudeltaa ja full duplexista. PROFINETin käyttämä runkoverkko voi olla kuitenkin paljon nopeampi kuin itse PROFINET-väylä. On mahdollista käyttää esimerkiksi gigabitin verkkoa PROFINETin runkoverkkona. (Pyykkö, 2012.)

### 2.2.1 Tiedonsiirto

Tavallisen Ethernetin suurimpana puutteena, verrattuna PROFINETtiin, on sen lähettämien viestikehyksien aikakriittinen käyttäytyminen. PROFINET-verkossa on tämä korjattu ja kaikki liikenne siirtyy tietyn ajan sisällä eri protokollien avulla. Ei-aikakriittisen TCP/IP-tiedonsiirron lisäksi on PROFINETissä mahdollista siirtää myös prosessidataa, ilman että se häiritsee prosessidatan reaaliaikaisia aikavaatimuksia. (Siemens, 2015b.)

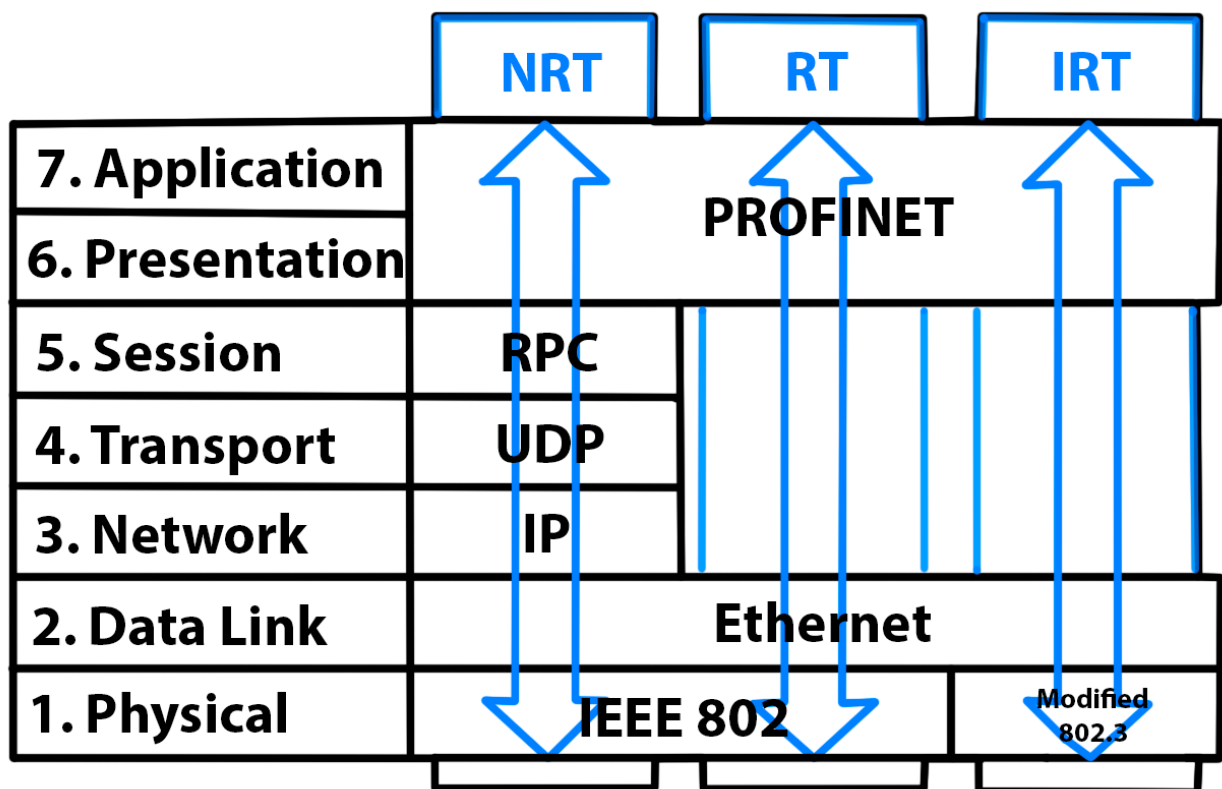
Koska PROFINET käyttää samaa liitäntäpintaa kuin Ethernet, on mahdollista hyödyntää Ethernet-laitteita PROFINET-verkossa. Esimerkiksi koti- tai toimistokäytössä olevia verkkokytкимиä on mahdollista käyttää jakopisteinä PROFINET-verkossa. Niiden käyttö PROFINETin jakamiseen ei myöskään estä verkon normaalia käyttöä.

Koti- ja toimistokäytössä olevia verkkokytкимиä käyttäessä on kuitenkin huomioitava prioriteetti tuki. Kaikki kytkimet eivät ehkä tue viestien priorisointia. On mahdollista, että PROFINETin käyttämät nopeamman kommunikoinnin menetelmät eivät toimi kaikilla kytkimillä.

PROFINET protokolla koostuu kolmesta eri kommunikointikanavasta: TCP/IP-kanava, PROFINET Real Time -kanava (PROFINET RT) ja PROFINET Isochronous Real Time -kanava (PROFINET IRT). Näillä kolmella kommunikointikanavalla on kaikilla omat etunsa (TAULUKKO 6 ja KUVA 6). Kaikkien kanavien samanaikainen käyttö on mahdollista. Kaistanjakamisella voidaan varmistaa, että jokaisella prosessorin I/O-kierrolla ainakin 50 % Ethernet-väylästä jää vapaaksi TCP/IP-kommunikoinnille. On siis mahdollista olla esimerkiksi etäyhteydellä kiinni verkossa, jossa on käytössä PROFINET laitteita. (PROFIBUS & PROFINET International, 2019.)

TAULUKKO 6. Eri PROFINETin käyttämät protokollat (Mukaillen PROFIBUS & PROFINET International, 2019 ja Siemens, 2015c)

Protokolla	Selite
TCP/IP	TCP/IP kommunikointiprotokollaa käytetään ei-determinisille funktioille, kuten parametrisoinneille ja AV lähetyksiin. Sillä voidaan siirtää suuria määriä dataa, mutta se ei ole tarpeeksi nopea deterministisille funktioille.
PROFINET RT	PROFINET RT ohittaa TCP/IP lähetysskerrokset kokonaan, jotta viivettä saadaan pienemmäksi. Tällä voidaan pienentää datan prosessointiaikaa ja päästä alle 10 millisekunnin viiveisiin.
PROFINET IRT	PROFINET IRT on protokollista kaikista nopein. Siinä on myös ohitettu TCP/IP kerrokset kokonaan. PROFINET IRT käyttää myös signaalien priorisointia ja aikataulutettua kytkeytymistä. Näiden avulla päästään jo alle 1 millisekunnin viiveisiin. PROFINET IRT kuitenkin vaatii lähes aina erillisen ASIC lisäkortin toimiakseen, sillä se käyttää muokattua IEEE 802 standardia.



Kuva 6. PROFINET eri kommunikointimenetelmät. RT ja IRT ohittavat kommunikointikerroksia. (Mukaillen PROFIBUS & PROFINET International, 2019)

### 2.2.2 Langaton tiedonsiirto

Koska PROFINET pohjautuu Ethernet -teknologiaan, sillä voidaan käyttää mitä tahansa langatonta standardia, jotka IEEE 802.11 tai IEEE 802.15.1 asettaa. Näihin standardeihin kuuluvat molemmat 2.4 Ghz ja 5 Ghz Wi-Fi verkot, sekä Bluetooth sovellukset. (Profinetuniversity, 2019.)

IWLAN, eli Industrial WLAN, on teollisuuskäyttöön tehty langaton lähiverkko. Se pohjautuu kansainväliseen WLAN -standardiin, mutta se on karaistu kestäämään paremmin teollisuusympäristön häiriötekijöitä. IWLANin käyttämät komponentit ovat tukevampitekoisia ja teollisuusympäristön vaatimusten mukaisia. (Siemens, 2019b.)

Mitä tahansa langatonta verkkoa käytettäessä on kuitenkin otettava huomioon, että ne eivät kykene yhtä luotettavaan ja nopeaan tiedonsiirtoon kuin kiinteä yhteys kahden eri laitteen välillä. Koska yhteyspiSTEIDEN väliset radioaallot joudutaan lähettämään sokeasti vastaanottajalle eikä voida olla täysin varmoja, saavuttaako kyseinen datapaketti koskaan vastaanottajaa, on langattoman verkon käyttö aikakriittisille kohteille huono ratkaisu. Langaton yhteys ei siis voi taata samoja viiveaikoja kuin esimerkiksi kiinteää yhteyttä käyttävä PROFINET IRT tai PROFINET RT. Se ei voi myöskään taata, että tieto saapuu luotettavasti perille.

Langattomassa tiedonsiirrossa on kuitenkin myös omat etunsa, ja sille on useita käyttökohteita. Esimerkiksi akkukäyttöisille laitteille on käytännöllisempää käyttää langattomia tiedonsiirtolaitteita. Langattoman järjestelmän asennus on nopeampaa ja sen skaalaus suuremmaksi on helppoa. Esimerkkisovelluksia langattoman PROFINET-verkon käyttöön ovat muun muassa erilaiset korkeavarastot ja kuljettimet, viihivaunut, mobile HMI laitteet, siltanosturit sekä teatterilavat (Pyykkö, 2012).

### 3 OHJELMISTO JA LAITTESTO

Opinnäytetyön aikana käytettiin pääasiassa Siemensin laitteistoa ja ohjelmistoa. Koska kyseessä oli kuitenkin tutkimustyö ja siihen kuului uusia laitteita, joiden konfiguroinnin ja toimivuuden varmistamiseksi hankittuna oli lisälaitteistoa ja ohjelmistoa. Hankituilla laitteilla ja ohjelmilla voitiin tutustua esimerkiksi CAN-väylän toimivuuteen tarkemmin sekä säätää parametreja, joita ei voitu säätää TIA Portalin kautta.

#### 3.1 Ohjelmistot

Siemensin kehittämä Totally Integrated Automation Portal versio 15, eli TIA Portal V15, oli ohjelmointi osuudessa käytettävä ympäristö. Sillä ei kuitenkaan ollut esimerkiksi mahdollista monitoroida CAN-väylän liikennettä yksilöllisten viestien tasolla. Kaikkien laitteiden konfigurointi TIA Portalin kautta ei ollut mahdollista, joten projektiin oli hankittuna CAN-väylää käyttävä ZAPI PC Can Console, joka on ZAPI:n kehittämä CAN-väylän hallintaan käytettävä tietokonepohjainen ohjelma.

ZAPI:n PC Can Console vaati jonkin välirajapinnan, jolla se voidaan liittää tietokoneeseen, sen lisäksi oli projektiin ostettu myös IXXAT USB-to-CAN v2 compact. Sen yhteydessä asennettiin myös IXXAT:n canAnalyser 3Mini, jonka avulla oli mahdollista monitoroida CAN-väylän liikennettä tarkemmin ja lähettää tarvittaessa viestejä CAN-väylälle.

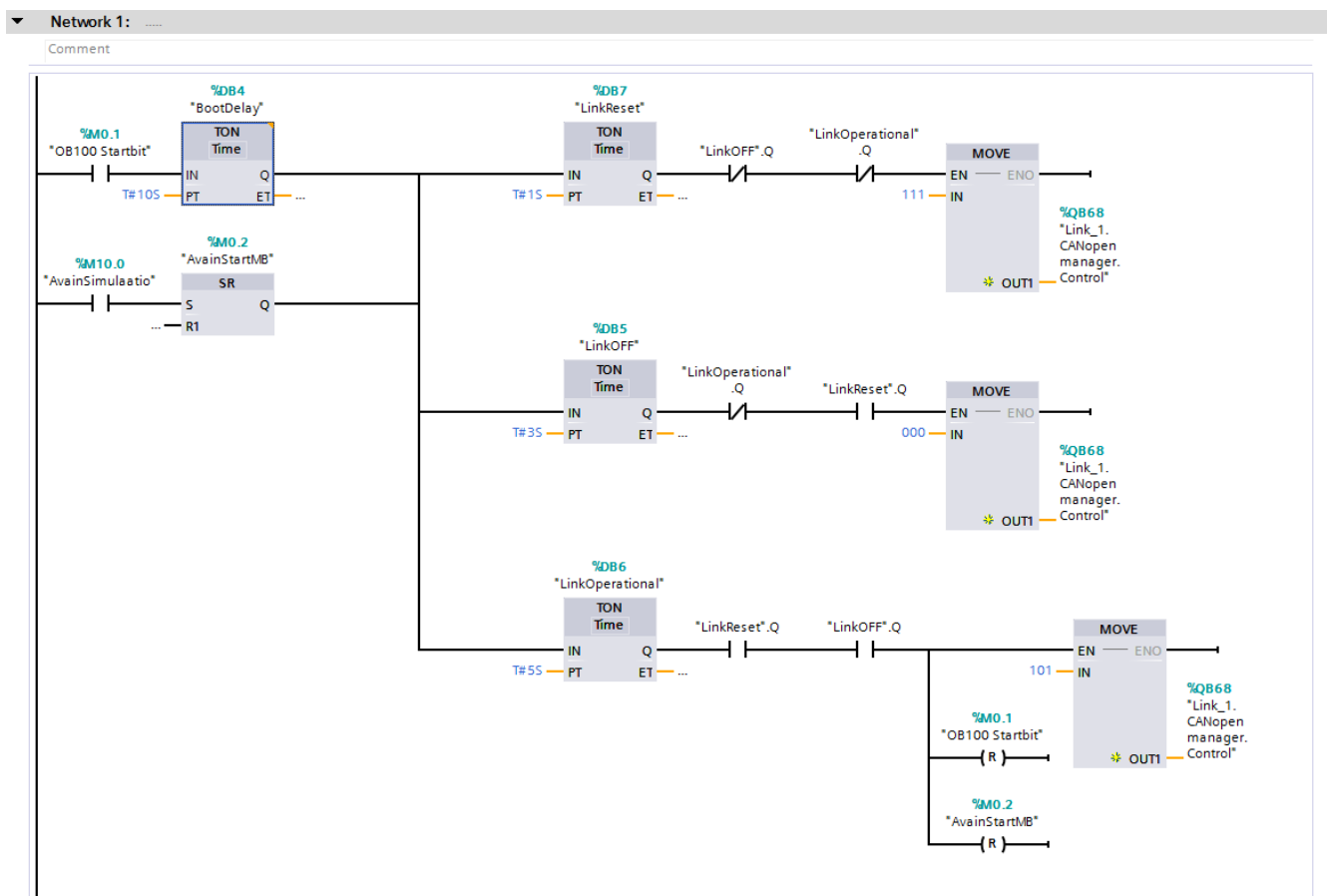
##### 3.1.1 TIA Portal V15

Siemensin valmistama Totally Integrated Automation Portal, eli TIA Portal, on ensimmäinen Siemensin valmistama suunnittelu ympäristö, jossa on yhdistetty kaikki aikaisemmat työkalut yhteen selkeään käyttöliittymään. TIA Portalissa on mahdollista suunnitella visuaalisia käyttöliittymiä, luoda turvatekniikkaa ja -ohjelmaa sekä luoda ohjelmoitaville logiikoille koodia. (Siemens, 2014.)

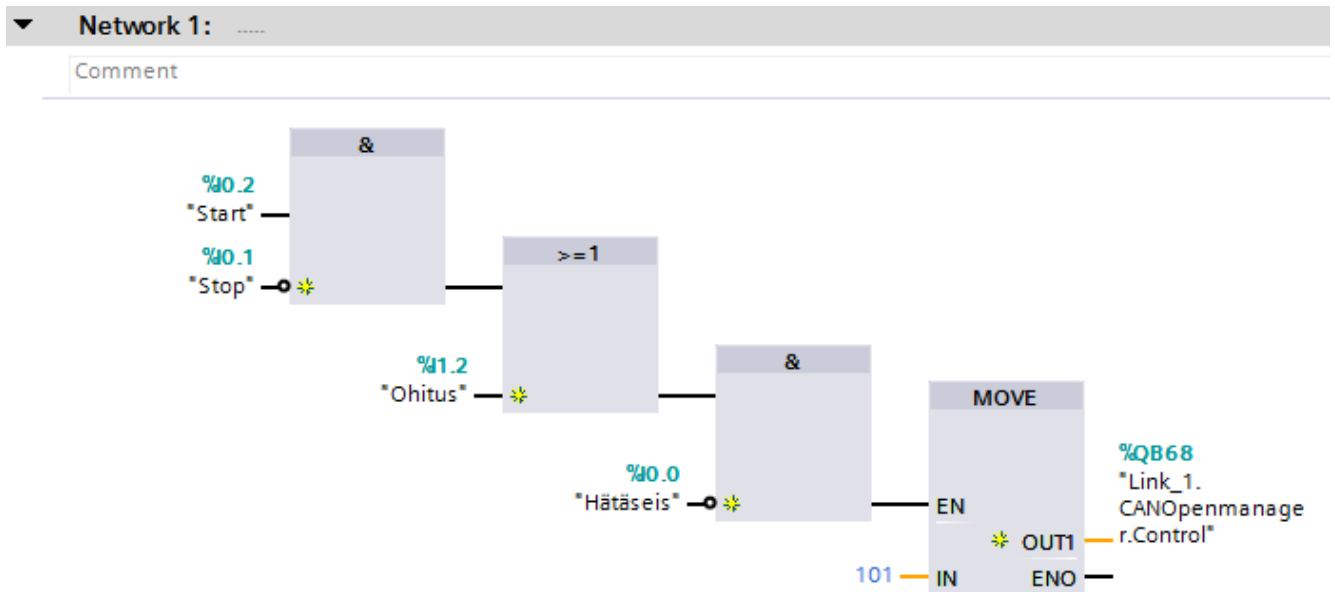
TIA Portalin kuuluu logiikkaohjelmointia (SIMATIC STEP 7), käyttöliittymäsuunnittelua (SIMATIC WinCC) sekä uusimpana myös taajuusmuuttajat (SINAMICS StartDrive) hallinta (Siemens, 2014). TIA Portal yksinkertaistaa myös arkistointia yhdistämällä aikaisemmin erillään olleet STEP7, WinCC ja StartDriven tiedostot yhteen tiedostoon. Projektin arkistointi ja vanhojen projektien avaus arkistosta on

näin yksinkertaisempaa sekä selkeämpää. Myös TIA Portalin eri versioiden välillä on mahdollista avata projekteja. Rajoitteena kuitenkin on, että joistain uudemmista TIA Portalin versioista on saatettu karsia pois vanhojen laitteiden tukia.

Logiikkaohjelmaa suunniteltaessa TIA Portalissa voidaan kirjoittaa koodia kolmella eri kielellä: LAD (KUVA 7), FBD (KUVA 8) ja SCL (KUVA 9). Ohjelmaa ei ole kuitenkaan rajoitettu vain yhteen ohjelmointikieleen. TIA Portalissa ohjelma koostuu käyttäjän luomista lohkoista ja saman lohkon sisään ei voi kirjoittaa kuin yhtä kieltä. Projektin sisällä voidaan kuitenkin kaikkia ohjelmointikieliä käyttää mielivaltaisesti eri lohkoissa.



Kuva 7. Esimerkki työn testivaiheessa käytetystä LAD-ohjelmalohkosta.



Kuva 8. FBD-koodin esimerkki.

```

1  #tmpA := 2;
2  #tmpB := 5;
3
4  FOR #tmpB := 3 TO 5 DO
5      %EW(#tmpA) := 0;
6      %AB(#tmpA) := %MB(#tmpA);
7      %AW(#tmpA + 1) := %MW(#tmpA + 1)
8  END_FOR;
9  #statBool := %MX(IDX := #tmpA,
10     BIT := #tmpB)
11 %EX(IDX := #tmpA,
12     BIT := #tmpB) := %MX(IDX := #tmpA,
13     BIT := #tmpB)

```

Kuva 9. SCL-koodin esimerkki. (Mukaillen Siemens, 2014c)

Käyttöliittymäsuunnittelu tapahtuu Tia Portaliin integroidun WinCC:n kautta. WinCC:n kautta on käyttäjän mahdollista luoda käyttöliittymiä kaikkiin tarkoituksiin. Käyttöliittymiä voidaan tehdä yksittäisille paneeleille tai kokonaisille SCADA-järjestelmille (Siemens, 2014d.).

Siemens tarjoaa valvomo suunnitteluun neljä eri lisensointimallia: Basic, Comfort, Advanced ja Professional. Eri lisensseillä on mahdollista käyttää ja suunnitella erilaisia valvomoita ja HMI-paneeleja. Basic-lisenssillä voidaan luoda yhdelle Basic-tason paneelille käyttöliittymä. Comfort-lisenssillä voidaan luoda käyttöliittymä yhdelle Basic- tai Comfort-tason paneelille

Advanced-lisenssillä voidaan luoda yhden näytön PC-pohjaisia valvomoita sekä Basic- ja Comfort-tason paneeleita. Advanced-lisenssillä voidaan myös integroida Visual Basicin scriptejä käyttöliittymiin. Professional lisenssillä on täysi SCADA tuki. Se tukee muun muassa Visual Basicin scriptejä, usean näytön PC-pohjaisia valvomoita, kaikkia paneelityyppejä ja usean käyttäjän samanaikaista käyttöä.

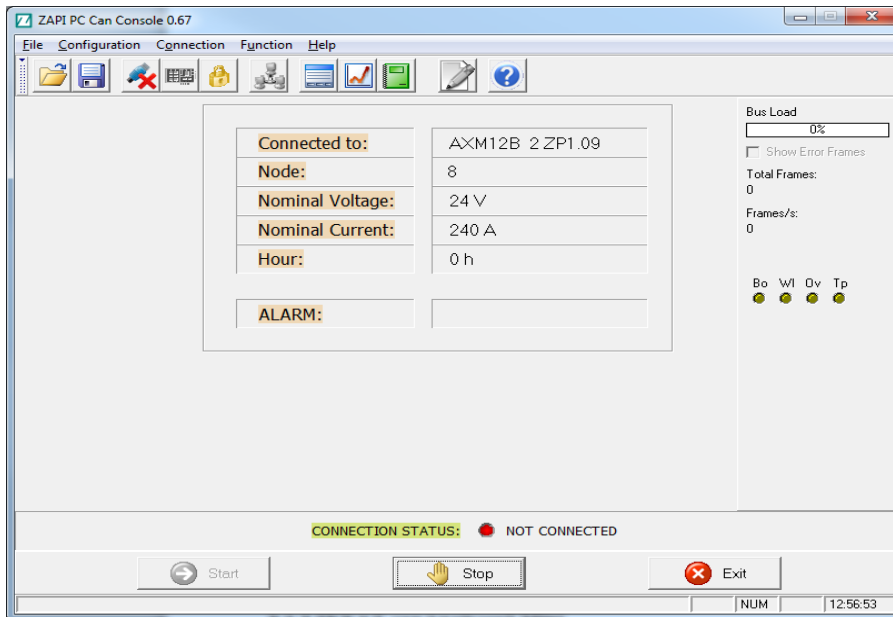
TIA Portal sisältää myös SINAMICS StartDrive -ohjelmiston. Sen kautta on mahdollista liittää, käyttää, monitoroida, testata ja parametrisoida SINAMICS-taajuusmuuttajia. (Siemens, 2019c.)

### **3.1.2 ZAPI PC Can Console**

ZAPI:n kehittämä ZAPI PC Can Console on Windows-pohjainen konfigurointi- ja diagnostiikkatyökalu, joka on kehitetty ZAPI:n valmistamien moottoriohjaimien hallintaan ja diagnosointiin (KUVA 10). ZAPI PC Can Console vaatii välirajapinnan tietokoneen ja CAN-väylän välille toimiakseen. Opinnäytetyön yhteydessä oli käytössä IXXAT USB-to-CAN V2 compact, jonka avulla oli mahdollista liittää tietokone CAN-väylään USB:n kautta.

ZAPI PC Can Consolen kautta on mahdollista muuttaa moottorin sisäisen muistin arvoja sekä seurata reaaliajassa eri parametreja. Sen avulla työssä muutettiin muun muassa moottorin nopeuden ohjaukseen liittyviä parametreja sekä CAN-väylään liittyviä arvoja. Työkalun kautta voidaan myös tarkastella vikakoodeja sekä hälytyksiä. Viat ja hälytykset olivat nähtävissä ilman työkaluakin suoraan moottoriohjaimen LED-valosta, mutta niiden tarkempi tulkinta on helpompaa ohjelman kautta. LED-valo ilmoitti myös vain yhden vikakoodin kerrallaan. Useamman hälytyksen samanaikainen tarkastelu on mahdollista lokikirjan kautta.

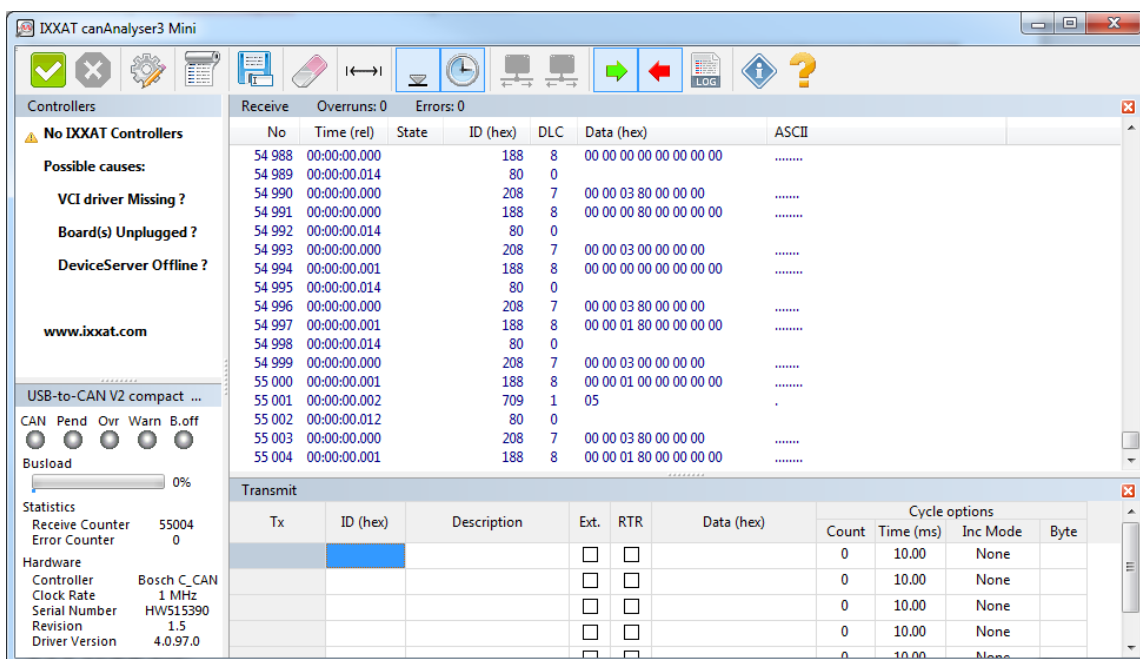




KUVA 10. ZAPI PC Can Console versio 0.67 perusnäkö.

### 3.1.3 IXXAT canAnalyser3 Mini

IXXAT canAnalyser 3 Mini on Windows-pohjainen CAN-väylän monitorointityökalu, jota yhdessä IXXAT:n USB-to-CAN V2 compact -laitteen kanssa voidaan käyttää CAN-väylän liikenteen analysointiin sekä hallintaan (KUVA 11). Sen kautta voidaan monitoroida CAN-väylää viestikohtaisella tasolla ja tarkastella viestien sisältöä häiritsemättä ja hidastamatta väylää. Sen kautta on myös mahdollista lähettää CAN-viestejä väylälle. Lähettämällä viestejä voitaisiin testata ja ohjelmoida eri laitteita.



KUVA 11. IXXAT canAnalyser3 Mini -työkalu, jota käytettiin väylän liikenteen monitorointiin.

### 3.2 Laitteet

Työn aikana oli käytössä pääasiassa viisi eri laitetta. Siemensin S7-1215FC DC/DC/DC PLC ja SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävä toimivat käskyttävinä laitteina projektin eri osille. PLC:n tehtävänä oli ulkoisen ohjausjärjestelmän kautta tulevien nopeus- ja kääntöohjeiden prosessointi ja turvalaitteiden toiminnan takaaminen. Se myös luki SIMATIC PN/CAN LINKin kääntämiä CAN-väylältä tulleita tietoja, kuten jännitteitä, mitattua pyörimisnopeutta ja lämpötilaa.

SIMATIC PN/CAN LINK kääntäisi PLC:n prosessoimat ohjeet CAN-väylällä oleville laitteille. Sen toisena tehtävänä oli lukea CAN-väylän kautta eri moottoriohjainten lähettämiä tietoja ja lähettää ne PLC:lle. CAN-väylässä oli kiinni kaksi DC-moottoriohjainta sekä absoluutti enkooderi. Mukana oli myös muutamia laitteita, joilla CAN-väylän laitteita konfigurointiin ja monitoroitiin.

#### 3.2.1 Siemens S7-1215FC DC/DC/DC PLC

Projektissa oli käytössä Siemensin S7-1215FC DC/DC/DC ohjelmoitava logiikka, eli PLC. Sen tehtävänä oli muun muassa tulkata ulkoiset ohjausjärjestelmän lähettämiä ohjeita, sekä huolehtia kommunikoinnin toimimisesta ja hoitaa turvalaitteiden toimivuus.

Turvalaitteiden toimivuudesta vastasi logiikan fail-safe-ominaisuus. Käyttämällä TIA Portalin tarjoamia turvalohkoja ja projektissa käytettyä turva I/O:ta on mahdollista luoda projektissa käytettävä turvaohjelma. Sen tehtävänä oli huolehtia, että projektissa käytettävä pääkontaktori katkaisee virran ohjausjärjestelmältä turvapiirin lauettua.

#### 3.2.2 Siemens SIMATIC PN/CAN LINK

SIMATIC PN/CAN LINK on viestiyhdyskäytävä, joka mahdollistaa CAN-väylän yhdistämisen SIMATIC ohjaimiin PROFINETin kautta. Tämä mahdollistaa tiedon ja tietojen vaihdon PROFINETin ja CAN-väylän välillä. (Siemens, 2018a.)

CAN-väylää käyttävien laitteiden I/O-osoitteet näkyvät TIA Portalissa samalla tavalla kuin muutkin li-sälaitteiden osoitteet. Osoitteet generoituvat automaattisesti, kun käyttäjä konfiguroi ristiviittaukset väy-lien välille oikein. Osoitteet toimivat lähes samalla tavalla konfiguroinnin jälkeen kuin mikä tahansa muu I/O. Erona CAN-väylän I/O-laitteita käytettäessä on se, että käyttäjän tulee olla tietoinen SIITÄ, miten väylässä olevat laitteet prosessoivat tavuja. Vähiten tai eniten merkitsevän tavun prosessointitapa tulee tiedostaa ohjauksia tehdessä.

CANopen protokolla ja SIMATIC PN/CAN LINK käyttävät prosessoreita, jotka ovat little endian -tyyp-pisiä, eli ne käsittelevät vähiten merkittävän tavun ensin. Siemensin S7 PLC:t sen sijaan käyttävät pro-sessoreita, jotka käsittelevät tavuja big endian -tyypin mukaan, eli ne prosessoivat eniten merkitsevän tavun ensin. Tästä seuraa esimerkiksi se, että kun vastaanotettu sanoma on pidempi kuin 1 tavu, sen bittien paikat ovat eri järjestyksessä (KUVA 12).

CANopen ja PN/CAN LINK, little endian				S7 PLC, Big endian			
Name	Datatype	I	Function	Name	Datatype	I	Function
Control word(Unsigned 16)	Bool	2.0	enable_power	Control word(Unsigned 16)	Bool	3.0	enable_power
	Bool	2.1	power_line_on (NMC)		Bool	3.1	power_line_on (NMC)
	Bool	2.2	out NEB		Bool	3.2	out NEB
	Bool	2.3	forward req		Bool	3.3	forward req
	Bool	2.4	reverse req		Bool	3.4	reverse req
	Bool	2.5	out_SAUX1		Bool	3.5	out_SAUX1
	Bool	2.6	out_SAUX2		Bool	3.6	out_SAUX2
	Bool	2.7	out_SAUX3		Bool	3.7	out_SAUX3
	Bool	3.0	out_SAUX4		Bool	2.0	out_SAUX4
	Bool	3.1	out_SAUX5		Bool	2.1	out_SAUX5
	Bool	3.2	Reserved		Bool	2.2	Reserved
	Bool	3.3	free		Bool	2.3	free
	Bool	3.4	free		Bool	2.4	free
	Bool	3.5	free		Bool	2.5	free
	Bool	3.6	free		Bool	2.6	free
	Bool	3.7	stuffing		Bool	2.7	stuffing

Kuva 12. Tavujen osoitteiden järjestyksen vaihto. Vasen taulukko on ACEX 2 $\mu$ C invertterin manuaa-lin mukainen hallintasana. Sanan sisältämät osoitteet vaihtavat paikkaa nuolien mukaisesti. TIA Porta-lin puolella käytetään oikeanpuolista taulukkoa.

### 3.2.3 ZAPI ACEX 2 $\mu$ C

ZAPI:n valmistamat ACEX 2 $\mu$ C invertterit ovat tarkoitettu ohjaamaan induktiivisia AC-moottoreita sekä synkronisia kestopagneettimoottoreita. Pääasiassa ne on tehty akkukäyttöisille laitteille. Invertterit ovat tarkoitettu käytettäväksi 24V<sub>DC</sub>:n käyttöjännitteellä ja 600 W – 2,5 kW jatkuvan tehon alueella.

Työssä käytettiin kahta eritehoista ACEX 2 $\mu$ C invertteriä. Suurempitehoinen invertteri oli luokiteltu kestämään hetkellinen 240 A virta ja 120 A jatkuva virta. Pienempitehoinen invertteri oli luokiteltu kestämään hetkellinen 165 A virta ja 80 A jatkuva virta. Molempien inverttereiden hallinta tapahtui CAN-väylää käyttäen, SIMATIC PN/CAN LINKin kautta muodostetuilla I/O:lla.

### 3.2.4 IXXAT USB- to-CAN V2 compact

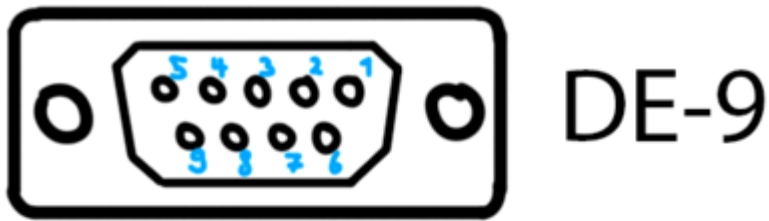
IXXAT USB-to-CAN v2 compact on laite, joka tarjoaa liitännämahdollisuuden tietokoneen ja CAN-väylän välille USB:n avulla (KUVA 13). Sen avulla on mahdollista käyttää esimerkiksi IXXAT canAnalyser3 Mini -ohjelmistoa ja ZAPI PC Can Consolea. Laitteen päältä voidaan myös LED-valojen perusteella tulkita yhteyksien toimivuus.



Kuva 13. IXXAT USB-to-CAN V2 compact.

Tietokoneeseen se tarjoaa USB 2.0 -liitännän, ja CAN-väylään liittymiseen on tarjottu urospuolinen D9-liitin. Sen mukana ei kuitenkaan tullut minkäänlaista kaapelia, vaan se piti itse tehdä (KUVA 14). CAN-

väylään liittymiseen tarvitsee CAN-High ja CAN-Low johtimet. Ne tulee liittää D9 liittimen pinneihin 7 ja 2. Muita johtimia ei tarvitse liittää, ellei konfiguroitava laite sitä erikseen vaadi.



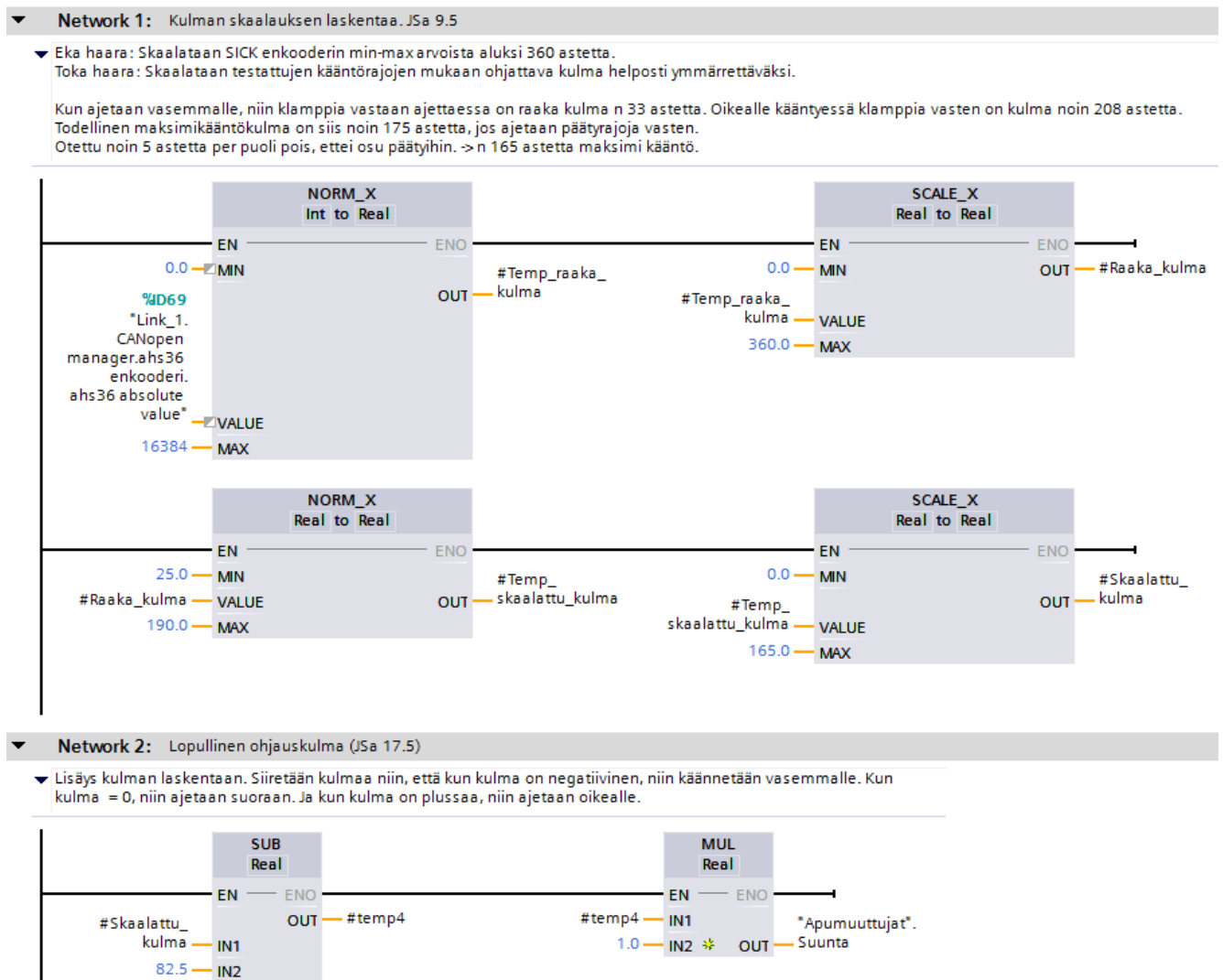
Pin #	Signal Names	Signal Description
1	Reserved	Upgrade path
2	CAN_Low	Dominant low
3	CAN_GND	Ground
4	Reserved	Upgrade path
5	CAN_SHLD	Shield, optional
6	GND	Ground, optional
7	CAN_High	Dominant high
8	Reserved	Upgrade path
9	CAN_V+	Power, optional

Kuva 14. CAN-väylä D9-liittimessä. (Mukaillen Interfacebus, 2012)

### 3.2.5 SICK AHS36A Absolute Encoder

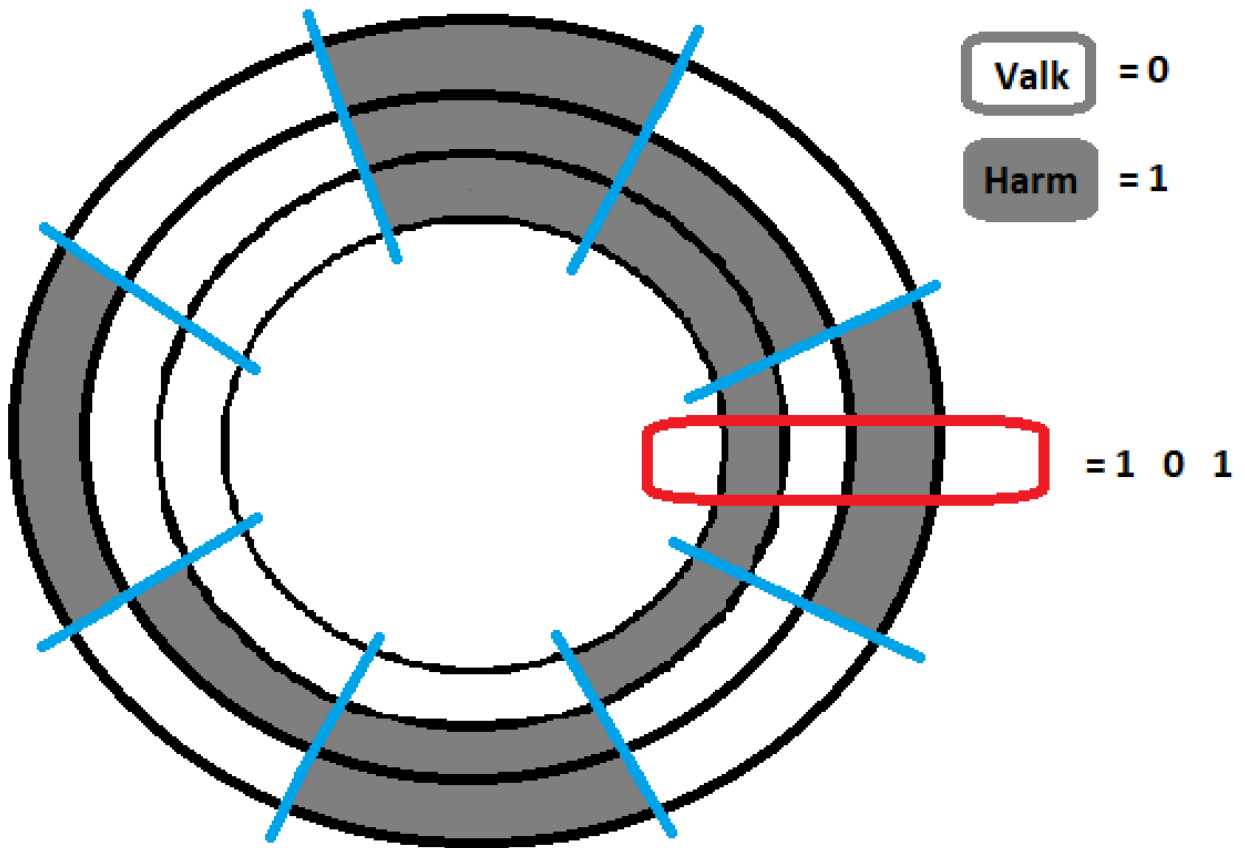
SICK:n valmistama AHS36A on kompakti CANopen protokollaa käyttävä absoluutti enkooderi, jolla saadaan siihen kiinnitettävän akselin paikka tarkasti. Enkooderin tehtävänä oli lukea kääntömoottorin akselin tarkka paikka. Vanhassa ohjausjärjestelmässä oli käytetty pulssiantureita ja laskettu kulma niiden kautta. Pulssiantureiden huono puoli oli kuitenkin se, että ne eivät muistaneet paikkaansa sähkökatkon jälkeen. Jokaisen sähkökatkon jälkeen oli siis pakko ajaa referenssiajolla arvot uudelleen muistiin. Uudella absoluutti enkooderilla voidaan poistaa referenssiajo, ja enkooderin antama lukema on tarkka sähkökatkoista huolimatta.

Absoluutti enkooderi muistaa oman paikkansa, vaikka siitä katkeaisi virta. Enkooderin paikkatieto pitää paikkaansa niin kauan kuin se on kiinni akselissa eikä pääse liikkumaan eri tahtiin kuin akseli. Enkooderin lukeman arvon perusteella pystyttiin laskemaan akselin tarkka paikka, joka sitten muutettiin koodissa asteiksi (KUVA 15). Vertaamalla ohjausjärjestelmän lähettämään tavoitekulmaan ja laskettua nykyistä kulmaa oli mahdollista käskyttää kääntömoottorista vastaavaa invertteriä ajamaan moottori oikeaan suuntaan.



Kuva 15. SICK AHS36A absoluutti enkooderin arvon muutos kulmaksi.

Absoluutti anturit tuottavat tietoa niiden sijainnista, kulmasta sekä kierrosluvuista kaikissa mahdollisissa akselin kohdissa. Absoluuttienkooderi tietää oman positionsa, koska jokaiselle positiolle on uniikki yksiselitteinen koodi. Yksikierros-absoluuttianturi mittaa paikkansa aina yhden kierroksen sisällä. Monikierros-absoluuttianturit mittaavat paikkansa lisäksi myös kierrosten määrän. (SICK, 2019.) (KUVA 16)



Kuva 16. Absoluutti enkooderin periaate. Jokaisella numerolla on oma uniikki paikka levyllä. Esimerkiksi tällä levyllä on mahdollista ilmoittaa 8 eri arvoa. (Mukaiillen Clr, 2017)

## 4 KÄYTÄNNÖN TOTEUTUS

Opinnäytetyöprosessi alkoi tammikuussa, kun tietoon tuli, että Apex Automaation Oy hakee opinnäytetyöntekijää. Heidän asiakkaansa oli tiedustellut uuden ohjausjärjestelmän tekoa erääseen projektiin. Vastaavaan aikaisempaan projektiin tehty ohjausjärjestelmä ei ollut täysin sopiva uuden tilatun projektin kanssa. Uusi ohjausjärjestelmä rakennettaisiin erään vastaavan projektin päälle. Koska hankitut moottoriohjaimet toimivat CAN-väylän kautta, oli tarpeena perehtyä SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävään ja sen toimintaan sekä arvioida sen soveltuvuutta projektin aikana.

SIMATIC PN/CAN LINK:n tutkimisen ja käyttöönoton yhteydessä kirjoitettiin sille myös käyttöohjeet. Käyttöohjeet kirjoitettiin myös kahdelle muulle prosessille, jotka tulivat esille projektin edetessä.

Työ oli karkeasti jaettuna kolmeen eri vaiheeseen: Ensimmäisenä vaiheena oli tutkiminen. Sen aikana oli tarkoituksena tutustua laitteisiin ja väyliin. Toisena vaiheena oli ohjelmakoodin muokkaus ja tekeminen Tia Portalissa sekä laitteiden testaus. Kolmannessa vaiheessa oli tarkoituksena tehdä käyttöohjeet, sekä dokumentoida erilaisia työn aikana esille tulleita prosesseja. Kolmas vaihe oli jatkuvasti työn alla koko opinnäytetyöjakson ajan.

### 4.1 Vaihe 1: Tutkiminen

Tutkimusosuudessa oli tarkoituksena tutustua CAN-väylään syvällisemmin, sekä sen ohjaamiseen PROFINET-väylän kautta. Ohjaus tapahtuisi Siemensin SIMATIC PN/CAN LINK -viestiyhdyskäytävän kautta muodostetun I/O:n avulla.

SIMATIC PN/CAN LINKin käyttöohjeista, esimerkkiohjelmista sekä Siemensin tekemistä esimerkkivideoista oli vaiheen alkuvaiheessa todella paljon apua. Niiden avulla oli mahdollista päästä kiinni laitteen käyttöön suhteellisen nopeasti. SIMATIC PN/CAN LINKin yhteydessä tuli myös perehdyttyä PROFINET teollisuusväylään.

Kun SIMATIC PN/CAN LINK oli saatu lisättyä projektiin ja konfiguroitua oikein, oli aika tutustua CAN-väylään sekä siihen liitettäviin laitteisiin. Ensimmäisenä piti perehtyä siihen, kuinka CAN-väylä



saataisiin toimivaksi. Toisena piti toimivaan väylään liittää jokin työssä käytettävistä CANopen -protokollaa käyttävistä laitteista. Kolmantena piti vielä selvittää, miten SIMATIC PN/CAN LINK saadaan toimimaan CANopen protokollaa käyttävien laitteiden kanssa ja saada tieto siirtymään.

Työn aikana oli tarpeen myös tutustua syvällisemmin ZAPI:n ACEX 2 $\mu$ C inverttereiden konfigurointiin ja virreehallinnan eri tapoihin. Virreehallinnan kanssa ilmeni ristiriitaista tietoa. Käytettävien tiedostojen ja ohjeiden ristiriidat viivästyttivät työn etenemistä huomattavasti. Ongelma saatiin kuitenkin ratkottua yhdessä laitetoimittajien avustuksella.

Työn loppuvaiheessa tuli ilmi myös, että SICK AHS36A absoluutti enkooderin tiedonsiirtonopeutta tulisi muuttaa, koska tehdasasetettu 125 kbit/s tiedonsiirtonopeus oli liian hidas, jos käytössä oli enkooderin lisäksi molemmat ZAPI ACEX 2 $\mu$ C invertterit. Anturin parametrisoinnin muuttaminen oli dokumentoitu käyttäen Beckhoffin TwinCAT -ohjelmistoa, jota ei ollut käytössä työn aikana. Ohjeista kuitenkin löytyi joitain parametreja, jota pystyttiin muokkaamaan käyttäen CAN-väylää. Muokkaus tapahtui lähettämällä CAN-väylälle viestejä, joilla voitiin asettaa anturi LSS-tilaa. LSS-tilassa oli mahdollista vaihtaa tiedonsiirtonopeutta ja Node ID:tä.

## 4.2 Vaihe 2: Ohjelmointi & testaus

Projektin alussa oli päätetty, että uusi ohjausjärjestelmä rakennettaisiin Apex Automation Oy:n kehittämän vanhan ohjausjärjestelmän päälle. Vanha järjestelmä oli todettu toimivaksi aikaisemmassa projektissa. Vanhan projektin päälle rakennettava ohjausjärjestelmä tulisi toimimaan lähtökohtaisesti samalla tavalla kuin aikaisemman projektin ohjausjärjestelmä, mutta se käyttäisi erilaisia moottoreita ja ohjaimia. Uuteen järjestelmään tulisi myös uutta I/O:ta ja turvatoimia sekä absoluutti enkooderi pulssianturin tilalle.

Laitteita testattiin yksitellen käyttäen eri PLC:tä kuin lopullisessa projektissa tulisi olemaan. Työn alkuvaiheessa tuli rakentaa CAN-väylä ja liittää siihen kaikki laitteet. Laitteiden ohjekirjojen sekä erillisten verkkolähteiden avulla oli jokaiseen laitteeseen mahdollista ottaa yhteys yksi kerrallaan.

SIMATIC PN/CAN LINKkiä testattiin ensimmäisenä laitteena. Sen testaukseen kuului vain sen lisääminen projektiin ja sen hallintaan liittyvää testausta. Testaus ei kuitenkaan onnistunut kunnolla, ennen

kuin CAN-väylä oli rakennettu oikein. Kun CAN-väylä toimi, pystyttiin SIMATIC PN/CAN LINK ajamaan sen ”operational”-käyttötilaan ilman virheitä käyttäen sen luomia hallintatavuja.

SICK:n AHS36A absoluutti enkooderia testattiin ensimmäisenä CAN-väylälaitteena. Sen kanssa ongelmana oli, että tieto ei siirtynyt kuin kerran PLC:lle. Tiedonsiirto tapahtui vain silloin, kun SIMATIC PN/CAN LINK asetettiin ”Operational”-tilaan. Ongelmana oli, että tiedonsiirto oli konfiguroitu vain SIMATIC PN/CAN LINKin puolelta. Se piti myös muuttaa anturin puolelta vastaamaan SIMATIC PN/CAN LINKin puolelle asetettua tiedonsiirron asetusta, jotta tieto siirtyisi asetetulla aikavälillä.

ZAPI:n ACEX 2 $\mu$ C invertterit testattiin viimeisenä, ja ne olivat hyvin haastavia saada toimimaan. Niiden yhdistäminen testilaitteistoon tuotti erilaisia vikoja jonkin aikaa, vaikka sama kytkentä oli juuri toiminut SICKin enkooderin kanssa. Testikytkennän kanssa esiintyneistä jatkuvista virhekoodeista oli mahdollista päätellä, että on järkevämpää kasata kaikki laitteet ohjauskeskukseen ja kytkeä ne työssä käytettäviin laitteisiin. Ohjauskeskuksen valmistuttua lähes kaikista virhekoodeista päästiin eroon. Jäljelle jääneet koodit oli mahdollista kuitata muuttamalla inverttereiden parametreja.

Ohjauskeskuksen valmistuttua inverttereiden konfigurointi onnistui moitteettomasti. Ongelmana oli kuitenkin vielä, että vaikka kommunikointi näytti toimivan ja tieto kulki molempiin suuntiin, inverttereiden päävirtakontaktori ei toiminut halutulla tavalla.

Inverttereiden päävirtakontaktorin ohjaus toimi, mutta itse kontaktori ei jäänyt vetämään. Kun kontaktori veti itsensä kiinni, se päästi irti lähes välittömästi sen jälkeen, kun sitä ohjattiin. Tämä tapahtui, koska havaittiin yhteyden katkenneen moottoriohjaimen ja PLC:n välillä. Ongelma toisti itseään aina kun päävirtakontaktorin ohjaus oli päällä. Yhteys siis toimi hetken aikaa ja kontaktori veti itsensä kiinni. Tämän jälkeen huomattiin, että yhteys oli katkennut ja kontaktorin aukaistiin.

Jatkuva irrotus johtui siitä, että moottoriohjaimen valmistajalta saadun ohjekirjan mukaan oli tarkoituksena käyttää Node guarding -virteenhallintamenetelmää. Node Guardingin käyttö kuitenkin tuotti ongelmia päävirtakontaktorin kanssa, ja ongelma jatkui pidemmän aikaa, ennen kuin ratkaisu löytyi. Virteenhallintamenetelmänä tuli käyttää Heartbeat -virteenhallintamenetelmää. TIA Portalin puolella näkyvässä ZAPI ACEX 2 $\mu$ C invertterin asetuksissa luki kuitenkin, että: ”Heartbeat is not supported on this device.” Moottoriohjaimen jälleenmyyjän kanssa kävimme läpi Zapilta tulleen ohjeistuksen, ja niissä ei ollut mainittuna Heartbeat-virteenhallintamenetelmää, vaan niissä mainittiin ainoastaan Node guarding

-virheenhallintamenetelmä. Molemmissa virheenhallintamenetelmissä on periaate sama. Niissä lähetetään vuoron perään ”1”- ja ”0” arvoja tietyllä syklillä. Jos arvo ei muutu tietyn ajan kuluessa tai vastaanotettu arvo on sama kuin aikaisemmin vastaanotettu, tulkitaan laite vioittuneeksi. Heartbeatissa lähetetään Heartbeat -pulssin mukana 1 tavun mittainen sanoma, jossa on kerrottu väylän tila. Vastaanottavat noodit vastaavat Heartbeat -pulssiin omalla Heartbeat -pulssillaan. Node guardingissa NMT, eli verkon hallitsija, lähettää käskyn laitteille. Laitteet vastaavat siihen omalla tilallaan ja niin sanotulla toggle bittillä. Toggle bitti vaihtaa tilaansa joka viestin välein.

Inverttereiden konfigurointia hidasti myös valmistajan toimittamat puutteellisesti käännetyt eds -tiedostot, jotka eivät alun perin olleet yhteensopivia TIA Portalin kanssa. eds -tiedostot korjattiin manuaalisesti laitetoimittajan kanssa. Virheellinen virheenhallintaviesti TIA Portalin puolella johtui myös puutteellisesti käännetystä eds -tiedostoista. Vasta kun virheenhallinta menetelmä ja eds -tiedostot oli korjattu, oli mahdollista pitää koko laitteessa virrat päällä ja siirtyä testaamaan koko laitetta kerrallaan.

Testausvaiheessa työtä hidasti vielä PLC:n ja SIMATIC PN/CAN LINKin eri tavat käsitellä tavujärjestystä. PLC:lle tulevat bitit olivat eri järjestyksessä kuin manuaalissa mainitut bitit, joten niiden kääntämiseen ja tulkitsemiseen meni hieman aikaa.

Kun kaikki laitteet oli konfiguroitu ja testattu yksitellen, ne lisättiin samaan projektiin ja tehtiin niille I/O-lista TIA Portalin. Lisäämällä ne samaan projektiin voitiin testata niiden yhteisaikaista toimintaa. Uutena ongelmana oli vielä, että inverttereiden node ID:t olivat samat. Niiden lähettämiä viestejä ei siis voinut erottaa CAN-väylän liikenteessä. Ongelma oli helposti korjattavissa, sillä inverttereiden konfigurointiparametreissa pystyttiin lisäämään CAN-väylän node ID:n offsettiä. Projektin ristiviittaukset CAN-väylän ja PROFINETin välillä tuli myös tehdä uudelleen, sillä ne eivät automaattisesti päivittyneet.

Testilogiikan vaihto lopulliseen projektissa käytettävään logiikkaan sekä ohjauskeskuksen valmistaminen tuottivat pieniä ongelmia. Moottorien vaiheet oli ensin epähuomiossa kytkettynä väärään järjestykseen ja testilogiikalla oli ohjelman tekemiseen varattu sellaisia muistialueita, joita oli varattu PLC:n turvatoimiin. Turvapuolen ohjelman teko oli vierasta, joten siihen perehtymiseen ja opiskeluun kului hieman aikaa.

Projektin eri käyttötilat rakennettiin uudelleen ja testattiin aluksi simuloimalla niitä. Tämän jälkeen siirryttiin testaamaan fyysistä laitetta. Testauksen aikana laite oli asetettu sellaiseen tilaan, että se ei voisi

vahingoittaa sen runkoa tai käyttäjiä. Vasta kun oltiin varmoja, että laite ei vahingoita ketään, kytkettiin sen liikkuvat osat takaisin paikoilleen. Laitetta ei kuitenkaan voitu testata kunnolla ennen kuin se toimitettiin asiakkaan tiloihin.

Laitteella on kolme eri käyttötilaa: Automaatti, Käsiäjo ja Opetusajo. Automaattitilassa se ohjautuisi ulkoisen ohjausjärjestelmän ohjeiden mukaisesti. Käsiäjolla olisi käytössä käsiäjoon valmistettu ohjain. Opetusajo -tilassa laite oli ohjattavissa käsiäjolle tarkoitettulla ohjaimella, mutta ulkoisen ohjausjärjestelmän kautta tulisi sille kuitenkin kääntöön tarkoitetut ohjeet. Nopeusohjeet säädettiin niin, että laite ei liiku arvaamattomasti sitä käyttöönottaessa. Tarkemmat säädöt kuitenkin tehtäisiin vasta kun laite on toimitettu asiakkaan tiloihin.

### 4.3 Vaihe 3: Ohjeiden teko

Työn ohessa oli tarkoituksena myös kirjoittaa käyttöohjeet SIMATIC PN/CAN Linkin käyttöön. Ohjeet tehtiin SIMATIC PN CAN LINKin ”CANopen manager”-toimintatilalle. Työn teon aikana tuli kuitenkin eteen ongelmia uusien CAN-väylään pohjautuvien laitteiden konfiguroinnin kanssa, joten myös niiden konfigurointiin tehtiin käyttöohjeet. Työn aikana kirjoitettiin siis yhteensä kolmet käyttöohjeet yhden ohjeen sijasta. Kirjoitetut ohjeet olivat ”ZAPI ACEX 2 $\mu$ C konfigurointiohje”, ”AHS36 Node ID ja baud raten muuttaminen OHJE” ja ”PN\_CAN Link OHJE”.

”ZAPI ACEX 2 $\mu$ C konfigurointiohje” -ohjeessa on käyty läpi, kuinka käyttäjä voi konfiguroida ZAPI:n ACEX 2 $\mu$ C invertterin. Invertterin konfigurointiin käyttäjän tarvitsee tehdä oma kaapeli, jolla liittyä CAN-väylään. Sen jälkeen tulee asentaa tarvittava ohjelmisto ja käyttää ZAPI:n tarjoamaa PC Can Consolea, jotta voidaan tallettaa halutut muutokset invertterin sisäiseen muistiin.

Ohje kirjoitettiin, koska piti muuttaa moottorien ohjaukseen liittyviä parametreja sekä muuttaa CAN-väylään liittyviä arvoja. Myös virheiden tarkastelu oli helpompaa testausvaiheessa työkalun kautta.

”AHS36 NodeID ja baud raten muuttaminen OHJE” -ohjeessa on käyty läpi, kuinka voidaan CAN-väylää ja IXXAT canAnalyser 3 Mini työkalua käyttäen muuttaa SICK:n AHS36A absoluutti enkooderin tiedonsiirtonopeutta sekä sen node ID käyttäjän haluamaksi. Ohje kirjoitettiin, koska kaikkien CAN-väylässä olevien laitteiden samanaikainen käyttö kuormitti väylään liian paljon.

”PN\_CAN Link OHJE” -ohjeessa on avattu SIMATIC PN/CAN LINK:n ”CANopen manager” operointitilan käyttöä. Siinä on selitettynä, kuinka laite lisätään projektiin, kuinka CAN-väylän laitteet konfiguroidaan näkymään PROFINET I/O:na, kuinka CAN-väylän toimintatila hallintaan ja kuinka käyttäjä voi määritellä CAN-väylällä liikkuvien PDO-viestien sisällön.

## 5 YHTEENVETO

Helmikuussa aloitettu opinnäytetyö vaikutti työn alussa suhteellisen yksiselitteiseltä työltä, vaikka SIMATIC PN/CAN LINK ja CAN-väylä eivät olleet ennestään tuttuja. Työ alkoi hyvällä tahdilla ja eteni hyvin, kunnes maaliskuussa tuli moottoriohjainten kommunikoinnin kanssa ongelmia. Muutamat ongelmat veivät paljon aikaa, ja sen takia työn loppupuolella oli hieman kiire. Projekti kuitenkin saatiin opinnäytetyön osuudelta tehtyä ajallaan ja testiolosuhteissa uusi ohjausjärjestelmä toimi hyvin. Sitä ei kuitenkaan opinnäytetyöprosessin aikana ehditty testaamaan asiakkaan tiloissa.

CAN-väylä on hyvä ratkaisu paikkoihin, joissa tarvitsee lähettää vain suhteellisen lyhyitä sanomia. Lyhyitä sanomia ovat esimerkiksi eri anturien tiedot, kuten paikka, suunta ja lämpötila. Sen matala käyttöjännite sekä nopea kommunikointi sopivat esimerkiksi akkukäyttöisiin laitteisiin. Esimerkkeinä autot, työkonet ja automaattisesti ohjattavat kulkuneuvot ovat kaikki CAN-väylälle hyviä kohteita.

PROFINET on monipuolinen ja helppokäyttöinen teollisuus-Ethernet-standardi. Sen käytön yhteydessä ei tarvitse mitään erikoislaitteita. Se ei myöskään ole tarkka sanomien pituuksien kanssa, eli se sopii kaikkien sanomien siirtoon. Myös internetin samanaikainen käyttö on mahdollista ilman, että se vaikuttaa ohjelmakiertoihin tai tiedonsiirron vakauteen. PROFINET voidaan myös asentaa lähestulkoon mihin tahansa paikkaan, ja siihen on saatavilla helposti lisälaitteita. Langattomuus on nativisti tuettuna, koska koko PROFINET perustuu IEEE:n 802 Ethernet -standardiin.

Laitteisiin tutustuessa, niitä konfiguroidessa ja ongelmia ratkoessa tuli tutustuttua syvällisemmin CAN-väylällä olevien laitteiden kommunikointiin ja siihen, kuinka bittejä käsitellään eri prosessoreilla, sekä siihen kuinka väylien välinen kommunikointi toimii. Samalla tuli myös kerrattua sähkömoottoreihin liittyviä asioita ja harjoiteltua PLC-koodin kirjoitusta.

SIMATIC PN/CAN LINK on hyvin toimiva CAN-väylän ohjauslaite, ja omasta mielestäni se on myös käytännöllinen viestiyhdyskäytävä CAN-väylän ja PROFINETin välille. Sen konfigurointi on hieman työläs prosessi, koska I/O pitää määrittää kolme kertaa aina uusien laitteiden kanssa. Konfiguroinnin yhteydessä olisi hyvä, jos I/O kopioituisi automaattisesti aina seuraavaan ikkunaan näkymään. Valikoita joutuu useasti selaamaan edestakaisin I/O:n ristiviittauksia tehdessä ja automaattinen kopiointi nopeuttaisi tätä manuaalista prosessia hieman.

Opinnäytetyön aikana olisi ollut hyvä, jos olisi kyselty apua aktiivisemmin muutamiin ongelma-kohtiin. Myös syvemmin perehtyminen Node Guarding- ja Heartbeat virteenhallintamenetelmiin olisi ollut hyvä perehtyä todella tarkasti ongelmatilanteessa. Tutustumalla eri virteenhallintamenetelmiin heti työn alussa olisi voitu säästää jonkin verran aikaa ja saada mahdollisesti vietyä projekti pidemmälle. Oma-aloitteisesti toimiessa kuitenkin tuli kerrattua paljon vanhoja asioita, sekä opittua monia uusia asioita. Siemensin ohjelmiston käyttö tuntui paljon luontaisemmalta, kun ohjelmistoa pääsi käyttämään joka päivä työn parissa. Työn aikana oli mahdollista päästä myös hieman seuraamaan ja osallistumaan ohjauskeskuksen kasaukseen sekä projektin kehitykseen.

## LÄHTEET

Alanen, J. 2000. CAN – ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisväylä. Oulu: Ammattikorkeakoulu. PDF-dokumentti. Saatavissa: [http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet\\_AlasenMateriaalia.pdf](http://www.oamk.fi/~eero/Opetus/Ohjausjarjestelmat/CAN/CAN-perusteet_AlasenMateriaalia.pdf). Viitattu: 29.5.2019

Beckhoff. 2019. Bit timing. Saatavilla: <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcsystemmanager/fieldbus/canopen/bittiming.htm&id=6295784456410488432>. Viitattu: 29.5.2019

Canopensolutions. 2018a CAN identifier space partitioning. Saatavilla: [https://www.canopensolutions.com/english/about\\_canopen/predefined.shtml](https://www.canopensolutions.com/english/about_canopen/predefined.shtml). Viitattu: 20.5.2019

Clr.rs. 2017. Types of encoders and their applications in relation to motors. Saatavilla: <https://clr.es/blog/en/types-of-encoders-and-their-applications-in-relation-to-motors/>. Viitattu: 26.5.2019

Cook J, A & Freudenberg J, S. 2008. Controller Area Network (CAN). University of Michigan. PDF-dokumentti. Saatavilla: [https://www.eecs.umich.edu/courses/eecs461/doc/CAN\\_notes.pdf](https://www.eecs.umich.edu/courses/eecs461/doc/CAN_notes.pdf) Viitattu 2.8.2019

Corrigan S. 2008. Texas Instruments. Controller Area Network Physical Layer Requirements. PDF-dokumentti. Saatavilla: <http://www.ti.com/lit/an/slla270/slla270.pdf>. Viitattu: 29.5.2019

Corrigan S. 2016. Texas Instruments. Introduction to the Controller Area Network(CAN). PDF-dokumentti. Saatavilla: <http://www.ti.com/lit/an/sloa101b/sloa101b.pdf>. Viitattu: 31.5.2019

Interfacebus 2012. CAN Bus. Saatavilla: [http://www.interfacebus.com/Can\\_Bus\\_Connector\\_Pinout.html](http://www.interfacebus.com/Can_Bus_Connector_Pinout.html). Viitattu: 30.5.2019

PROFIBUS & PROFINET International. 2019. REAL TIME PERFORMANCE. Saatavilla: <https://us.profinet.com/technology/profinet/>. Viitattu: 31.5.2019

Procenter 2019. PROFIBUS cable length. Saatavilla: <https://procentec.com/content/profibus-cable-length/>. Viitattu: 26.5.2019

Profinetuniversity. 2019. WIRELESS PROFINET OVERVIEW. Saatavilla: <https://profinetuniversity.com/profinet-features/wireless-profinet-overview/>. Viitattu: 31.5.2019

Pyykkö T. 2012. SIMATIC NET PROFINET. PDF-dokumentti. Saatavilla: <http://www.siemens.fi/pool/cc/events/turvatekniikka2012/profinet.pdf>. Viitattu: 3.6.2019

SICK. 2019. Absoluuttianturit. Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/enkooderit/absoluuttianturit/c/g244395>. Viitattu: 26.5.2019

Siemens. 2014. TIA PORTAL – teollisuusautomaation ohjelmistoalusta. Saatavilla: [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/tia\\_portal.php](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/tia_portal.php). Viitattu: 30.5.2019



Siemens. 2014c. In STEP 7 (TIA Portal), how can you implement indirect addressing in an SCL program? Saatavilla: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/59623719/in-step-7-\(tia-portal\)-how-can-you-implement-indirect-addressing-in-an-scl-program-?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/59623719/in-step-7-(tia-portal)-how-can-you-implement-indirect-addressing-in-an-scl-program-?dti=0&lc=en-WW). Viitattu: 31.5.2019

Siemens. 2014d. TIA Portal (SIMATIC WinCC TIA). Saatavilla: [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/kayttoliittymat/ohjelmistot/tia\\_portal\\_wincc.php](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/kayttoliittymat/ohjelmistot/tia_portal_wincc.php). Viitattu: 31.5.2019

Siemens. 2015a. CANopen Tutorial. PDF-dokumentti. Saatavilla: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/771/109479771/att\\_861905/v1/109479771\\_CANopen\\_Tutorial\\_V10\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/771/109479771/att_861905/v1/109479771_CANopen_Tutorial_V10_en.pdf). Viitattu: 29.5.2019

Siemens. 2015b. Profinet. Saatavilla: [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto\\_esim\\_profinet/profinet.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_profinet/profinet.htm). Viitattu: 31.5.2019

Siemens. 2015c. Easy PROFINET implementation. PDF-dokumentti. Saatavilla: <https://web.archive.org/web/20150402183456/http://w3app.siemens.com/mcms/infocenter/dokumententcenter/sc/ic/Documentsu20Brochures/E20001-A24-M116-X-7600.pdf>. Viitattu: 31.5.2019

Siemens. 2016. Fail-safe SIMATIC CPUs. Saatavilla: <https://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/cpu/fail-safe-cpus/pages/default.aspx#Description>. Viitattu: 31.5.2019

Siemens. 2018. SIMATIC Network transitions PN/CAN LINK. Käyttöohje. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/744/109746744/att\\_917299/v1/pn\\_can\\_link\\_operating\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/744/109746744/att_917299/v1/pn_can_link_operating_manual_en-US_en-US.pdf). Viitattu: 3.6.2019

Siemens. 2019a. From PROFIBUS to PROFINET. Saatavilla: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-communication/profinet/pb-2-pn.html>. Viitattu: 26.5.2019

Siemens. 2019b. Teollisuuden langaton tiedonsiirto. Saatavilla: [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen\\_tiedonsiirto\\_esim\\_profinet/teollisuuden\\_langaton\\_tiedonsiirto.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/automaatiotekniikka/teollinen_tiedonsiirto_esim_profinet/teollisuuden_langaton_tiedonsiirto.htm). Viitattu: 3.6.2019

Siemens. 2019c. SINAMICS StartDrive –ohjelmisto. Saatavilla: [http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden\\_tuotteet\\_ja\\_ratkaisut/tuotesivut/kayttotekniikka\\_ja\\_liikkeenohjaus/liikkeenohjausjarjestelmat/sinamics\\_drive\\_solutions/sinamics\\_startdrive.htm](http://www.siemens.fi/fi/industry/teollisuuden_tuotteet_ja_ratkaisut/tuotesivut/kayttotekniikka_ja_liikkeenohjaus/liikkeenohjausjarjestelmat/sinamics_drive_solutions/sinamics_startdrive.htm). Viitattu: 4.6.2019

Työn aikana tehdyt ohjeet:

Ei jakoon.